

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Давиденко Людмила Валеріївна



УДК 621.311:658.26-047.36

**НАУКОВІ ОСНОВИ КОМПЛЕКСНОГО МОНІТОРИНГУ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ВОДОПРОВІДНОГО
ГОСПОДАРСТВА**

Спеціальність 05.14.01 – «Енергетичні системи та комплекси»

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ - 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Луцькому національному технічному університеті,
Міністерство освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор,
Розен Віктор Петрович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
завідувач кафедри автоматизації управління
електротехнічними комплексами.

Офіційні опоненти:

член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
Новосельцев Олександр Вікторович,
провідний науковий співробітник відділу теплофізичних основ
енергоощадних технологій Інституту технічної теплофізики
НАН України;

доктор технічних наук, професор,
Сінчук Олег Миколайович,
завідувач кафедри автоматизованих електромеханічних систем в
промисловості та транспорті ДВНЗ «Криворізький
національний університет»;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
Нікітін Євген Євгенович,
провідний науковий співробітник відділу технологій
альтернативних палив Інституту газу НАН України (м. Київ).

Захист відбудеться «08» грудня 2020 р. о 15⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 26.002.20 у Національному технічному університеті України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою:

03056, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, корп. 22, ауд. 701.

З дисертацією можна ознайомитися у Науково-технічній бібліотеці ім. Г.І. Дени-
сенка Національного технічного університету України «Київський політехнічний ін-
ститут імені Ігоря Сікорського» за адресою:

03056, м. Київ-56, проспект Перемоги, 37.

Автореферат розіслано «04» листопада 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



А. І. Замулко

Актуальність теми. Енергоефективність та енергозбереження є одними із пріоритетів в енергетичних стратегіях держав, що орієнтовані на побудову систем енергопланування для підвищення рівня енергоефективності. В Директиві ЄС 2018/2002 щодо внесення змін до Директиви 2012/27 наголошено на необхідності регулярної оцінки прогресу у досягненні встановлених на 2030 рік цілей щодо енергоефективності, а заходи, які забезпечують вимірювання або оцінювання підвищення рівня ефективності енергоспоживання, вважаються способом виконання зобов'язань з енергозбереження.

Україна є однією з енергоємних країн в Європі. Підвищення енергоефективності технологій, зменшення енергоємності продукції і послуг визначені стратегічним напрямком енергетичної політики України. Серед сформованих Міжнародним енергетичним агентством рекомендацій у сфері енергоефективності є: забезпечення збору та використання даних про кінцеве енергоспоживання, включаючи створення системи показників для контролю прогресу в сфері енергоефективності та економії енергії; управління в сфері енергоефективності; створення механізмів контролю та порівняння результатів з поставленими завданнями. При цьому, важливо забезпечити в комплексі дотримання, планування, контроль, реалізацію та оцінку заходів з підвищення енергоефективності, в тому числі з урахуванням кращих практик ефективного енергоспоживання. Це потребує нових підходів до вирішення цієї проблеми, зокрема, розвитку системи управління енергоспоживанням на державному та регіональному рівні, на рівні підприємств, організацій, технологічних процесів чи енергоємних установок, а основною такого підходу є впровадження енергетичного менеджменту (ЕМ) на всіх рівнях.

Дослідження питань підвищення ефективності енергоспоживання, енергоефективності технологічних процесів, розробки теоретичних і методологічних основ впровадження систем енергетичного менеджменту (СЕМ), оцінки рівня енергоефективності, моніторингу і контролю ефективності енергоспоживання знайшли відображення в роботах багатьох вчених: О.В. Кириленка, Г.Г. Півняка, А.В. Праховника, Б.С. Стогнія, А.К. Шидловського, Б.І. Баска, М.М. Кулика, О.В. Новосельцева, В.В. Грабка, С.П. Денисюка, В.І. Дешка, С.В. Дубовського, В.А. Жовтянського, Є.Є Нікітіна, В.Ф. Находова, І.І. Пухового, В.П. Розена, О.В. Садового, О.М. Сінчука, О.П. Чорного тощо. За результатами досліджень вчених і фахівців різних галузей пропонується багато технічних рішень, законодавчих ініціатив, методологічних і методичних розробок щодо підвищення ефективності енергоспоживання складних енерготехнологічних систем (СЕТС) та їх об'єктів як складових кінцевого енергоспоживання України. Проте, хоча й питання ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) давно знаходяться в полі зору сучасної науки та його вирішенню присвячено багато праць вітчизняних і зарубіжних дослідників, проблема підвищення рівня ефективності енергоспоживання в різних секторах народного господарства не втрачає своєї актуальності, а її вирішення вимагає методичних розробок, які б забезпечили виявлення причин нераціональних витрат енергоресурсів та резервів переходу до ефективного енергоспоживання. При цьому, відповідно до вимог Директиви ЄС 2018/2002 впроваджуючи заходи щодо енергоефективності необхідно приділяти «особливу увагу синергії між заходами з енергоефективності та ефективному використанню природних ресурсів».

Особливо актуальною дана проблема є для водопровідного господарства (ВГ), що є підсистемою кінцевого енергоспоживання. Частка електроспоживання в ВГ складає близько 4% загального електроспоживання в Україні (у 2018 р. у системах водопостачання було спожито електроенергії 2377,9 млн. кВт·год). Крім того, ВГ є споживачем життєво важливого природного ресурсу – води, запаси якої необхідної якості є обмеженими, в той же час, технологічні витрати та втрати води в мережах водопостачання складають 35 % від обсягу піднятої води. Дослідження енергоефективності ВГ та виявлення шляхів зниження об'ємів енергоспоживання у поєднанні із забезпеченням ефективного режиму водоподачі відповідно до потреби споживачів у питній воді сприяє

зниженню попиту на енергію та досягненню інших цілей сталого розвитку.

Система комунального водопостачання (СКВ) є складною технологічною системою (СТС), яка має ієрархічну структуру і містить низку взаємопов'язаних процесом водопостачання підсистем. Енергоефективність СКВ визначається енергоефективністю її елементів, що мають свої особливості функціонування. Вирішенню проблеми підвищення рівня енергоефективності об'єктів водопостачання шляхом модернізації обладнання, удосконалення режимів роботи приділяється багато уваги. Проте досягнення реального покращення енергоефективності ВГ та його об'єктів має ґрунтуватися не тільки на технічних рішеннях, а й на досконалому управлінні енергоспоживанням. Ефективне управління з точки зору енергоефективності вимагає впровадження комплексної системи моніторингу показників витрат енергоресурсів до корисного ефекту від їх використання стосовно окремих установок, технологічного процесу та підприємства в цілому, пошуку кращих практик ефективного енергоспоживання та їх адаптації до власних умов. Отже, розробка дієвих способів і методів виявлення резервів підвищення рівня енергоефективності ВГ та його об'єктів з урахуванням передового досвіду та оцінки досягнутих результатів, розвиток і удосконалення системи моніторингу ефективності енергоспоживання як складової СЕМ є актуальною проблемою. При цьому необхідним є урахування особливостей функціонування об'єктів водопостачання різних ієрархічних рівнів та їх умов роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконані в дисертаційній роботі дослідження відповідають пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки «Енергетика та енергоефективність» (згідно Закону України від 12.10.2010 р № 2519 - 17 «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки»), пріоритетному тематичному напрямку «Способи застосування сучасного енергоменеджменту. Технології забезпечення енергобезпеки» (згідно постанови Кабінету Міністрів України від 07.09.2011 р. № 942 «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року» із змінами, внесеними згідно постанови Кабінету Міністрів України від 23.08.2016 № 556). Дисертація виконана згідно плану наукових досліджень, що проводяться кафедрою електропостачання Луцького національного технічного університету, в тому числі, за держбюджетною темою «Комплексна програма енергозбереження Волинської області на 1998-2010 роки» ДР № 0199U001046), в якій автор брала участь як виконавець, та темою науково-дослідної роботи «Удосконалення та розробка методів аналізу та підвищення ефективності енерговикористання в складних виробничих системах» ДР №0116U001933, в якій автор брала участь як відповідальний виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є виявлення резервів підвищення рівня енергоефективності ВГ як підсистеми кінцевого енергоспоживання на основі розвитку науково-методологічних основ комплексного моніторингу енергоефективності складних енерготехнологічних систем шляхом розробки, удосконалення, інтегрування методів і механізмів бенчмаркінгу енергоефективності, планування і контролю електроспоживання з урахуванням особливостей функціонування об'єктів водопостачання.

Для досягнення мети були поставлені та вирішені такі задачі:

1. Виконати аналіз стану енергоефективності ВГ, сучасних тенденцій та інструментів управління ефективністю електроспоживання та підвищення рівня енергоефективності, стану вирішення завдань щодо їх реалізації з урахуванням особливостей функціонування об'єктів водопостачання та завдань що потребують вирішення.

2. Запропонувати методологію комплексного моніторингу ефективності електроспоживання як складової енергетичного менеджменту, яка б забезпечувала виявлення тенденцій у електроспоживанні, причин, що їх зумовили, а також шляхів підвищення рівня енергоефективності об'єктів водопровідного господарства.

3. Розробити механізм бенчмаркінгу енергоефективності, який би забезпечував

оцінку рівня енергоефективності об'єктів ВГ, визначення завдань для його підвищення та шляхів їх реалізації.

4. Розробити методологію планування електроспоживання об'єктів водопостачання, яка б дозволяла врахувати їх ієрархічний рівень, циклічні зміни процесу водоподачі та забезпечувала визначення базового рівня електроспоживання (БРЕ) адаптованого до умов роботи об'єкту.

5. Запропонувати механізм моніторингу коливань процесу водоподачі об'єктів водопостачання, зумовлених впливом сезонних, кліматичних і соціальних чинників.

6. Запропонувати спосіб формалізованого опису типових умов роботи об'єктів водопостачання та ідентифікації їх зміни, а також корегування результатів опису з урахуванням впливу аномальних кліматичних чинників.

7. Розробити механізм контролю ефективності електроспоживання об'єктів водопостачання, який би дозволяв врахувати зміну фактичних умов їх роботи, зумовлену впливом сезонних, кліматичних і соціальних чинників, забезпечував можливість виявлення тенденцій до підвищення (погіршення) рівня енергоефективності, а також урахування кращих практик ефективного електроспоживання.

8. Запропонувати концепцію інтегрування результатів процедур комплексного моніторингу енергоефективності в інформаційну систему ЕМ підприємства та побудови інформаційного простору комплексного моніторингу енергоефективності ВГ.

Об'єкт дослідження: ефективність енергоспоживання об'єктів ВГ.

Предмет дослідження: методи і способи аналізу, планування, оцінювання та контролю ефективності енергоспоживання об'єктів ВГ, виявлення тенденцій у енергоспоживанні, завдань і резервів підвищення рівня ефективності енергоспоживання.

Методи дослідження. Методичною основою дослідження є комплекс загальнонаукових та спеціальних методів, зокрема: аналіз і узагальнення відомих наукових результатів за темою дисертації, методи експертного оцінювання, рейтингового багатфакторного аналізу, статистичного аналізу, морфометричний аналіз фігур, методи теорії класифікації і розпізнавання образів, багатокритеріальної порядкової класифікації, математичного моделювання, прогнозування, статистичного контролю процесу.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні науко-прикладної проблеми виявлення резервів підвищення рівня енергоефективності ВГ як підсистеми кінцевого енергоспоживання України, яке полягає у розвитку наукових засад комплексного моніторингу енергоефективності складних енерготехнологічних систем шляхом розроблення та удосконалення методів і підходів до оцінювання, планування та контролю ефективності енергоспоживання, методологічних основ інтегрування їх результатів в інформаційну систему енергетичного менеджменту з урахуванням технологічних особливостей функціонування об'єктів водопостачання, що забезпечує виявлення тенденцій у енергоспоживанні, причин, що їх зумовлюють, завдань і шляхів підвищення рівня енергоефективності. Зокрема:

- запропоновано та обґрунтовано новий науково-методологічний підхід до багаторівневого комплексного моніторингу енергоефективності об'єктів водопровідного господарства, який на відміну від існуючих передбачає інтегрування механізмів і методів бенчмаркінгу енергоефективності та моніторингу ефективності електроспоживання, в тому числі, планування та контролю з урахуванням технологічних та режимних особливостей об'єктів водопостачання, що в комплексі дає змогу оцінити рівень енергоефективності об'єкту, виявити тенденції у електроспоживанні, причини, що їх зумовили, та шляхи підвищення рівня енергоефективності, в тому числі, з урахуванням кращих практик ефективного енергоспоживання;

- науково обґрунтовано та запропоновано новий підхід до бенчмаркінгу енергоефективності, який на відміну від існуючих передбачає сукупне застосування методів кількісного та якісного оцінювання, а також класифікацію об'єктів з урахуванням поді-

бності в структурі вхідних/вихідних змінних, що дозволяє не лише оцінити рівень енергоефективності об'єкту дослідження, а й дає змогу врахувати умови його функціонування, забезпечує визначення досяжних бенчмарків, формування завдань та виявлення можливих шляхів підвищення рівня енергоефективності;

- вперше розроблено науково-методологічні основи планування електроспоживання об'єктів ВГ, що на відміну від існуючих підходів базуються на застосуванні набору багатофакторних моделей електроспоживання, побудованих для типових умов роботи об'єкту моніторингу шляхом групового урахування визначальних змінних базового рівня електроспоживання, сукупність яких сформовано з урахуванням ієрархічного рівня об'єкту, істотності впливу змінних на ефективність електроспоживання, їх вимірюваності та можливості контролю, а також на врахуванні результатів формалізованого опису водоподачі, що забезпечує визначення базового рівня електроспоживання адаптованого до фактичних умов роботи об'єкту;

- вперше запропоновано спосіб моніторингу коливань процесу водоподачі, зумовлених впливом сезонних, кліматичних і соціальних чинників, який базується на ідентифікації за допомогою побудованих класифікаторів належності добових графіків витрати води з мережі водопостачання до одного з класів та застосуванні процедури прогнозування добової витрати води та профіля її добового графіка, що дозволяє виконати формалізований опис водоподачі та забезпечує врахування фактичних умов роботи об'єкту водопостачання;

- удосконалено механізм контролю ефективності електроспоживання об'єктів ВГ, в якому контроль електроспоживання доповнено контролем технологічних параметрів процесу водоподачі, показників енергоефективності та кліматичних чинників, а також процедурою виявлення моментів зміни умов роботи об'єкту, що дає змогу виявити не лише факт зміни ефективності електроспоживання, а й причини, що її зумовили, наявність (відсутність) тенденцій до підвищення рівня енергоефективності, в тому числі, у порівнянні з кращими об'єктами, встановити момент та необхідність корегування планових значень технологічних параметрів процесу водоподачі та базового рівня електроспоживання, що дозволяє врахувати фактичні умови роботи об'єкту.

- набули подальшого розвитку науково-методологічні аспекти організації інформаційного забезпечення енергоменеджменту, яка передбачає інтегрування результатів процедур бенчмаркінгу енергоефективності, планування електроспоживання та контролю його ефективності та формування єдиного інформаційного простору комплексного моніторингу енергоефективності об'єктів ВГ, що забезпечує формування інформаційної бази знань для прийняття управлінських рішень щодо підвищення рівня енергоефективності об'єктів з урахуванням фактичних умов їх роботи.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що виконані дослідження сприяють адаптації вимог стандартів серії ISO 50000 до умов роботи об'єктів водопостачання та спрямовані на виявлення прогресу щодо рівня енергоефективності об'єктів СКВ, пошук шляхів його підвищення і забезпечення постійного удосконалення технологічного процесу водоподачі та ефективності електроспоживання, зокрема:

- процедура бенчмаркінгу енергоефективності об'єктів ВГ, яка передбачає вибір методу оцінювання рівня енергоефективності з урахуванням типу бенчмаркінгу, вибраного об'єкту наслідування дозволяє сформувати досяжні бенчмарки енергоефективності та визначити завдання щодо удосконалення об'єкту;

- процедура експрес оцінки енергоефективності об'єктів водопостачання забезпечує оцінювання рівня енергоефективності шляхом самооцінки без залучення партнерів бенчмаркінгу та виявлення причин низького (недостатньо високого) рівня енергоефективності, шляхів його підвищення та прийняття рішень щодо першочерговості заходів;

- запропонований підхід до ідентифікації впливу на витрату воду з мережі водопостачання сезонних, кліматичних та соціальних чинників, а також спосіб формалізовано-

го опису цих змін, який передбачає побудову типових профілів добових графіків витрати води (ГВВ) для типових умов роботи об'єкту та можливість їх корегування з урахуванням впливу аномальних кліматичних чинників є основою планування ефективного режиму водоподачі та корегування графіків ввімкнення/вимкнення насосних агрегатів насосної станції II підйому, що сприяє узгодженню графіків водоспоживання та водоподачі з урахуванням сезону та типу дня, що забезпечує можливість зниження витрат електроенергії на подачу води в мережу водопостачання за рахунок зменшення перекачування надлишкових об'ємів води.

- запропонована процедура планування електроспоживання з урахуванням ієрархічного рівня об'єкту водопостачання дозволяє врахувати фактичні умови функціонування об'єкту, зумовлені впливом сезонних та соціальних чинників, забезпечує визначення (відповідно до вимог стандартів серії ISO 50000) БРЕ для типових режимів роботи та можливість його корегування з урахуванням впливу кліматичних чинників;

- процедура контролю ефективності електроспоживання, що передбачає контроль відповідності фактичних значень контрольованих параметрів (електроспоживання та технологічних параметрів процесу водоподачі з урахуванням фактичних умов роботи технологічного об'єкту, а також питомого електроспоживання) їх запланованим значенням дає змогу виявити не лише моменти невідповідності зміни рівня ефективності електроспоживання, а й причини цих змін, що зумовлені як неефективною організацією технологічного процесу водоподачі, так і впливом кліматичних чинників, а також дозволяє виявити наявність/відсутність тенденцій до підвищення рівня енергоефективності, якісно охарактеризувати ефективність режиму електроспоживання, в тому числі, з урахуванням результатів кращих за рівнем енергоефективності об'єктів;

- запропонований підхід до налаштування інструментів сигналізації про відхилення фактичного електроспоживання від БРЕ та контрольованих технологічних параметрів і показників енергоефективності (ПЕЕ) від їх нормативів передбачає можливість урахування типових режимів роботи об'єкту водопостачання, фактично досягнутого рівня енергоефективності та завдань щодо його підвищення, що забезпечує інформативність повідомлень енергоменеджера про результати контролю та сприяє прийняттю обґрунтованих рішень щодо необхідності корегування режиму водоподачі та підвищення рівня ефективності електроспоживання об'єкту.

Результати виконаних досліджень можуть бути використані фахівцями з питань забезпечення ефективного енергоспоживання, фахівцями енергоаудиторських компаній, енергоменеджерами та енергетиками комунальних підприємств.

Отримані в дисертаційній роботі результати впроваджено на підприємстві водопровідно-каналізаційного господарства КП «Луцькводоканал» м. Луцьк під час організації систем контролю та планування електроспоживання об'єктів водопостачання як складових СЕМ підприємства, а також прийнято до впровадження для організації планування режиму роботи насосних станцій другого підйому СКВ КП «Тернопільводоканал» м. Тернопіль та контролю його енергоефективності. Результати дисертаційної роботи використані в НДІ автоматики та енергетики «Енергія» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» під час розроблення систем планування та контролю електроспоживання промислових підприємств, в інституті «Кривбаспроект» під час виконання робіт по проектуванню та впровадженню автоматизованого робочого місця енергоменеджера гірничо-металургійних підприємств України, а також в НДГРІ м. Кривий Ріг під час оцінювання рівня енергоефективності об'єктів гірничо-металургійних підприємств. Основні теоретико-методичні та практичні результати використовуються у навчальному процесі як частина дисципліни «Енергетичний аудит та енергоменеджмент», що викладається в Луцькому національному технічному університеті під час підготовки магістрів за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

За результатами дисертаційної роботи одержано свідоцтва про реєстрацію авторського права на наукові твори: «Методика оцінювання рівня ефективності енерговикористання на об'єктах підприємства комунального водопостачання та водовідведення» (Свідоцтво № 37831 від 08.04.2011); «Процедура формалізації циклічних змін водоподачі насосних станцій комунального водопостачання» (Свідоцтво № 83989 від 26.12.2018); «Процедура побудови базового рівня електроспоживання насосної станції водопостачання» (Свідоцтво № 85617 від 11.02.2019); «Методика контролю ефективності електроспоживання насосної станції водопостачання з урахуванням впливу сезонних та соціальних чинників» (Свідоцтво № 88363 від 08.05.2019).

Результати теоретичних досліджень, що викладені у [1]–[70], були отримані у Луцькому національному технічному університеті.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення, теоретичні та практичні результати, які виносяться на захист, отримано автором самостійно під час виконання досліджень у Луцькому національному технічному університеті. У друкованих працях, опублікованих в співавторстві, автору належать такі результати: у роботах [1-3] - розроблено методологічні засади вирішення завдань комплексного моніторингу енергоефективності об'єктів ВГ з урахуванням особливостей та фактичних умов їх функціонування. В [21, 51] - обґрунтовано застосування моніторингу ефективності електроспоживання в системах комунального водопостачання (СКВ) як складової СЕМ підприємства, принципи та особливості реалізації його функцій для об'єктів водопостачання. У роботах [12, 14, 19, 45, 67] - обґрунтована необхідність та сформульовано аспекти і методологічні засади комплексного оцінювання рівня енергоефективності СКВ та її структурних елементів, а також запропоновано спосіб такого оцінювання. У роботах [30, 31, 40, 63, 67] - запропоновано підхід до виявлення та формалізації циклічних змін водоподачі, зумовлених впливом сезонних та соціальних чинників, розроблено та удосконалено процедуру їх ідентифікації та спосіб їх урахування під час контролю ефективності електроспоживання. У [18, 20, 25, 32, 33, 35, 65] - обґрунтована необхідність багатофакторного моделювання електроспоживання та доцільність застосування різних інструментів моделювання, виконано побудову моделей електроспоживання об'єктів ВГ різних ієрархічних рівнів з урахуванням сформованого набору відповідних істотних змінних, що мають вплив на ефективність електроспоживання. У роботах [15-17, 22, 41, 42, 70] - обґрунтована доцільність застосування методу статистичного управління процесом для контролю енергоефективності та запропоновано механізм контролю ефективності електроспоживання об'єктів ВГ різних ієрархічних рівнів із застосуванням контрольних карт. У [26, 38, 48, 57, 58] - запропоновано принципи організації та побудови системи контролю енергоефективності, розроблено та удосконалено архітектуру комплексного контролю ефективності електроспоживання об'єктів водопостачання. У роботі [28] - запропоновано механізм організації інформативних повідомлень енергоменеджера про результати контролю ефективності електроспоживання та описано способи налаштування інструментів сигналізації для контрольованих параметрів з урахуванням їх властивостей та фактично стану об'єкту дослідження з точки зору енергоефективності. У роботах [27, 29, 43, 60, 61, 69] - розроблено методологічні основи планування електроспоживання об'єктів водопостачання з урахуванням циклічних змін водоподачі, зумовленого впливом сезонних і соціальних чинників, та процедуру побудови БРЕ, адаптованого до фактичних умов роботи об'єкту. У роботах [13, 24, 36, 39] - запропоновано концептуальні засади інформаційного забезпечення функцій моніторингу (оцінювання рівня енергоефективності та процедур планування і контролю) енергоефективності об'єктів водопостачання та побудови інформаційного поля атрибутів-характеристик енергоефективності. У роботах [23, 54] - виконано аналіз інформативності результатів застосування морфометричних показників для опису добових графіків різної форми. У роботах [34, 52] - розроблено процедуру визначення рівня енергоефективності та бенчмарків для наслідування на основі рейтингування об'єктів. У роботах

[44, 66] - обґрунтовано призначення і запропоновано методологічні аспекти інтеграції бенчмаркінгу енергоефективності в СЕМ підприємства.

Апробація результатів наукових досліджень. Основні результати роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях, в тому числі 6 закордонних, та наукових семінарах, зокрема: 3RD International conference «Energy of Moldova – 2016. Regional aspects of development» (Chisinau, Republic of Moldova, 2016p.); International conference «System, Control and information Technology, SCIT-2016» (Warsaw, Poland, 2016p.); XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna «Automation 2019. Automatyzacja Nowości i Perspektywy» (Warsaw, Poland, 2019p.); International conference «Mechatronics'2019: Computing in Mechatronics» (Warsaw, Poland, 2019p.); 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (Kyiv, Ukraine, 2019p.); 2nd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange - DSMIE-2019 (Lutsk, Ukraine, 2019p.); XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna «Automation 2020. Automatyzacja Nowości i Perspektywy» (Warsaw, Poland, 2020p.); 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (Kyiv, Ukraine, 2020p.); International Conference on Electrical, Electronic and Information Sciences (Vilnius, Lithuania, 2020); Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (м. Харків, 2009р., 2010р., 2011р., 2012р., 2013р., 2014р., 2015р., 2016р., 2017р., 2018р., 2019р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика» (м. Кременчук, 2010р., 2011р., 2016р.); Міжнародна науково-практична конференція «Оптимальне керування електроустановками» (м. Вінниця, 2015р., 2017р.); Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS» (м. Київ, 2015р., 2016р., 2017р., 2018р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина» (м. Київ, 2016р.); Міжнародна конференція «Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах» (м. Луцьк, 2010р., 2012р., 2014р., 2016р., 2018р.); IV Міжнародна науково-технічна конференція «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій» (м. Тернопіль, 2019р.); Всеукраїнський науковий семінар «Проблеми і перспективи енергозбереження в комунальному господарстві та на промислових підприємствах» (м. Луцьк, 2011р., 2013р., 2015р., 2017р., 2019р.); Всеукраїнський науковий семінар «Моніторинг енерго- та ресурсовикористання в складних виробничих системах» (м. Луцьк, 2015р.); Науково-практичний семінар з міжнародною участю «Економічна безпека держави і науково-технологічні аспекти її забезпечення» (Недінські читання) (м. Київ, 2015р.).

Публікації. За результатами досліджень за темою дисертації опубліковано 70 наукових праць, у тому числі: 3 монографії, 38 статей у наукових фахових виданнях (з них 5 статей у періодичних виданнях інших держав, які внесені до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science, 13 статей у наукових фахових виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз), 9 статей в інших наукових виданнях (у тому числі: 2 статті у виданнях інших держав, з них 1 стаття у виданні, яке внесене до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science; 1 стаття у вітчизняному виданні, яке внесене до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science), 4 свідоцтва про авторське право на науковий твір, 16 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій та семінарів.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку літератури та додатків. Робота містить 301 сторінку основного друкованого тексту, 82 рисунки, 37 таблиць, список використаних джерел із 357 найменувань та 7 додатків. Загальний обсяг роботи – 410 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми роботи, зазначено зв'язок з науковими програмами і темами, сформульовано мету, наукові завдання, об'єкт, предмет, методи дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про апробацію результатів роботи та їх публікації, зазначено особистий внесок здобувача.

У **першому** розділі виконано характеристику СКВ як підсистеми кінцевого енергоспоживання, що має ієрархічну структуру та містить сукупність об'єктів, кожен з яких має свої особливості функціонування та використовує енергетичні (електричну енергію) та природні ресурси (воду) для вироблення продукції (питної води, що подається споживачу); аналіз стану ефективності електроспоживання та причин, що зумовлюють високий рівень витрати електроенергії на об'єктах ВГ; сучасних інструментів підвищення рівня енергоефективності СЕТС, в тому числі, бенчмаркінгу енергоефективності та моніторингу ефективності енергоспоживання, а також їх призначення та завдань; стану вирішення проблеми ефективного управління енергоспоживанням об'єктів водопостачання з урахуванням особливостей їх функціонування; визначено перелік питань, які потребують вирішення для реалізації принципів ефективного управління електроспоживанням об'єктів ВГ відповідно до вимог стандартів серії ISO 50000; обґрунтовано необхідність розгляду проблеми енергоефективності ВГ як комплексної та ієрархічної проблеми, вирішення якої потребує урахування технологічних особливостей та фактичних умов функціонування об'єктів водопостачання, впливу сезонних, кліматичних і соціальних чинників, що зумовлюють зміну цих умов; обґрунтовано необхідність інтегрування процедур бенчмаркінгу енергоефективності та моніторингу ефективності електроспоживання як складових СЕМ для виявлення шляхів підвищення рівня енергоефективності об'єктів водопостачання.

Аналіз поточного стану енергоефективності ВГ, показав, що для СКВ характерним є низький рівень ефективності електроспоживання, який обумовлений як вихідними умовами функціонування та критичним технічним станом технологічного обладнання, так і недосконалістю організації процесу водоподачі та режиму електроспоживання. Огляд сучасних тенденцій у сфері підвищення рівня енергоефективності дозволяє стверджувати, що вирішення даної проблеми потребує ефективного управління електроспоживанням будь-якого виробничого об'єкту з урахуванням явних і прихованих причинно-наслідкових зв'язків, при цьому однією з вимог є необхідність постійного удосконалення СКВ, в тому числі, спираючись на досвід кращих практик енергозбереження в галузі комунального водопостачання. Аналіз сучасних вимог у сфері енергоефективності свідчить, що для підвищення рівня енергоефективності ВГ необхідним є використання інструментів, які повинні забезпечити в комплексі спостереження, оцінку, планування та контроль ефективності електроспоживання і результатів впровадження заходів щодо підвищення рівня енергоефективності, а також формування порівняльної бази щодо енергоефективності. Заважаючи на те, що СКВ є СТС з ієрархічною структурою, вирішення задач ефективного управління потребує урахування ієрархічного рівня об'єкту дослідження. Аналіз чинників, що визначають ефективність електроспоживання в СКВ, свідчить, що крім енергетичних, технічних і технологічних чинників необхідним є урахування водоспоживання, яке формується під впливом сезонних, кліматичних і соціальних чинників та визначає ефективність режиму водоподачі. Це потребує організації моніторингу водоспоживання та формалізації впливу на режим водоподачі чинників зовнішнього середовища для виявлення коливань процесу водоподачі, удосконалення організації планування електроспоживання та його контролю з урахуванням зміни фактичних умов роботи об'єктів водопостачання.

Проведений аналіз показав, що вирішення проблеми енергоефективності ВГ повинне враховувати особливості функціонування об'єктів водопостачання; передбачати

можливість оцінки рівня енергоефективності; виявлення резервів економії енергоресурсів і шляхів підвищення рівня енергоефективності. Це потребує розробки відповідних підходів та методів, які б дозволили врахувати умови вихідного стану та функціонування СКВ та її об'єктів; технічні, технологічні та інші чинники, що мають вплив на ефективність електроспоживання; забезпечували можливість виявлення причин неефективної витрати електроенергії та негативних тенденцій в електроспоживанні. Вирішення завдань ефективного управління електроспоживанням та підвищення рівня енергоефективності ВГ, повинне базуватися на інтеграції сучасних інструментів, що забезпечують таке управління, при цьому необхідно враховувати ієрархічний рівень об'єкту дослідження. Основним принципом функціонування системи моніторингу енергоефективності повинна бути безперервність пооб'єктного контролю та урахування отриманої інформації для удосконалення виробничого процесу водопостачання, планування енергоефективних режимів роботи та електроспоживання. При цьому, потребують вивчення та систематизації питань формування сукупності показників енергоефективності, визначальних змінних, які впливають на рівень енергоефективності, їх урахування під час побудови моделей електроспоживання та визначення (БРЕ), організації контролю ефективності електроспоживання для кожного об'єкту водопостачання з урахуванням його ієрархічного рівня.

В другому розділі запропоновано підхід до комплексного оцінювання рівня енергоефективності ВГ, який базується на концепції бенчмаркінгу та передбачає визначення кількісної та якісної оцінки рівня енергоефективності об'єктів ВГ з урахуванням їх ієрархічного рівня, типу і мети бенчмаркінгу.

Шляхом систематизації методологічних аспектів порівняльного аналізу розроблено механізм бенчмаркінгу енергоефективності, що передбачає послідовне виконання низки процедур для реалізації основних етапів моделі методології бенчмаркінгу енергоефективності, рекомендованої міжнародним та державним стандартами, реалізація якого є основою виконання завдань бенчмаркінгу енергоефективності як складової СЕМ. Також обґрунтовано особливості реалізації складових механізму бенчмаркінгу для виконання етапів моделі з урахуванням їх призначення як інструменту постійного удосконалення ВГ та його об'єктів. Залежно від мети та завдань бенчмаркінгу енергоефективності, а також вибраного об'єкту наслідування (еталону) запропонований механізм бенчмаркінгу передбачає можливість застосування різних методів та підходів.

Для вирішення завдання підвищення рівня енергоефективності ВГ та його об'єктів необхідним є багатофакторний аналіз з урахуванням різнопараметричних показників, що мають різний вплив на ефективність електроспоживання, який повинен забезпечити комплексну оцінку рівня енергоефективності, а також містити висновки щодо завдань для підвищення рівня енергоефективності. Обґрунтовано, що як інструмент такої оцінки доцільно застосовувати багатокритеріальну рейтингову оцінку, яка виступає в якості інформаційного забезпечення рішення щодо управлінських дій для підвищення рівня енергоефективності об'єкту дослідження і потребує структурованого підходу до її визначення та застосування.

На основі систематизованого аналізу суті методів рейтингового оцінювання та прикладів їх застосування виконано їх характеристику з точки зору виконання завдань залежно від типу і завдань бенчмаркінгу та вибраного об'єкту наслідування. З урахуванням отриманих результатів розроблено узагальнену процедуру оцінювання рівня енергоефективності, що забезпечує реалізацію етапу аналізу даних механізму бенчмаркінгу та оцінку рівня енергоефективності об'єктів бенчмаркінгу. Її алгоритм (рис. 1) містить рекомендації щодо використання відповідних методів рейтингування з урахуванням ієрархічного рівня вибраного об'єкту дослідження, мети та типу бенчмаркінгу, вибраного об'єкту наслідування, послідовність виконання необхідних етапів, опис результатів, отримання яких забезпечить використання рекомендованих методів.

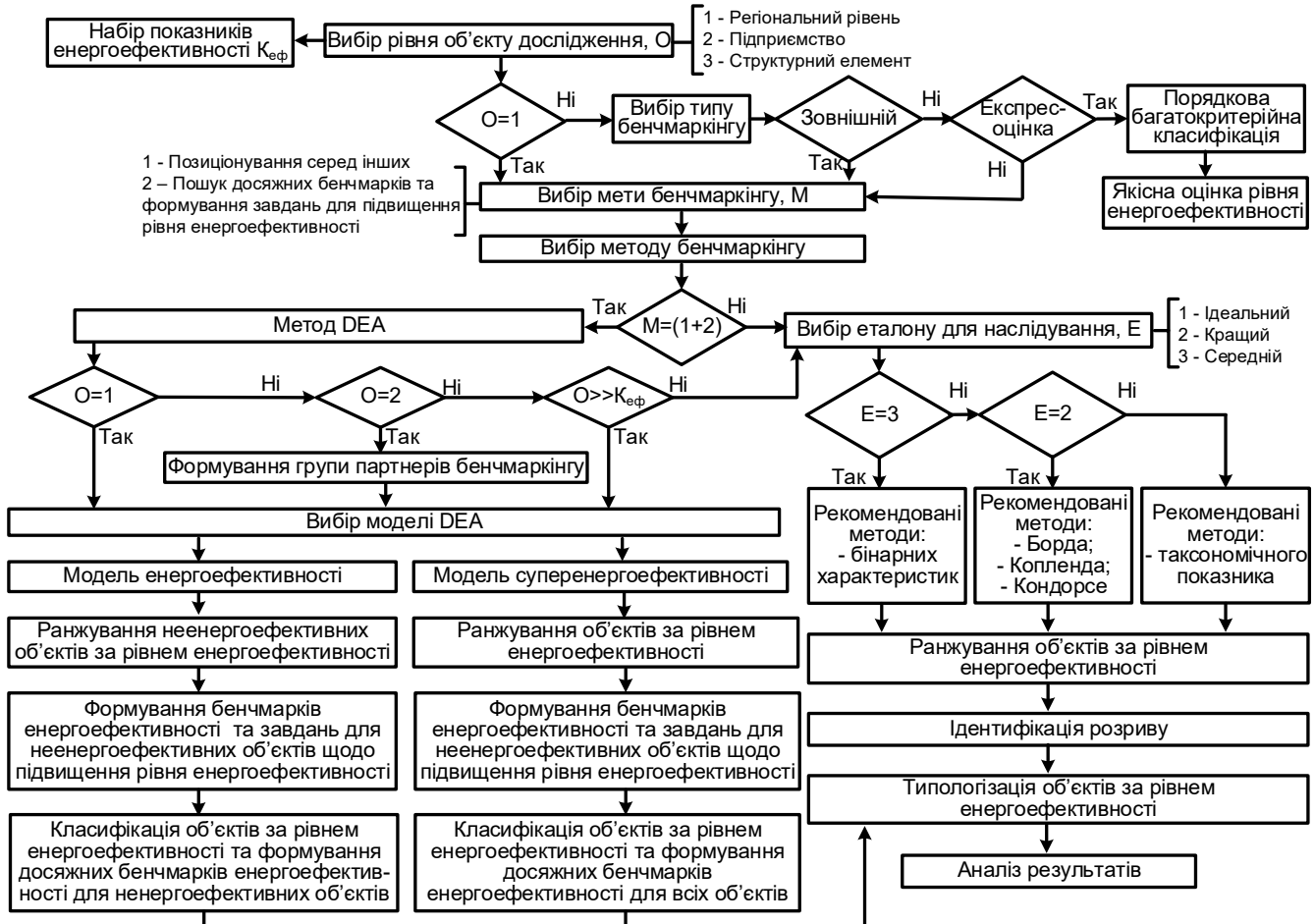


Рис. 1 - Узагальнений механізм процедури оцінювання рівня енергоефективності з позицій бенчмаркінгу

Аналіз методів багатокритеріального рейтингування показав, що поряд з завданням вибору показників для оцінювання та визначення їх кращих значень, складність полягає у визначенні важливості показників та урахування їх фізичної розмірності для порівняння енергоефективності різних об'єктів. Тому, як метод зовнішнього бенчмаркінгу для оцінювання рівня енергоефективності об'єктів вищих ієрархічних рівнів ВГ вибрано непараметричний метод аналізу середовища функціонування (DEA), який позбавлений зазначених недоліків.

Застосування методу DEA для оцінки енергоефективності забезпечило побудову межі енергоефективності для групи об'єктів у формі опуклої оболонки, вивчення розташування об'єктів відносно цієї межі та їх ранжування. Для ранжування об'єктів ВГ як вхідні змінні вибрано питоме електроспоживання, коефіцієнт втрат та коефіцієнт технологічних витрат води; як вихідну - об'єм реалізованої води. Їх значення визначено на основі загальноприйнятих звітних статистичних даних про роботу об'єктів ВГ. Кількісна оцінка рівня енергоефективності об'єктів базується на моделях енергоефективності та кращої енергоефективності із змінним ефектом масштабу з орієнтацією на вхід. Їх спільне застосування дало змогу виконати ранжування як неенергоефективних, так і енергоефективних об'єктів, формування бенчмарків енергоефективності та рекомендованих значень ПЕЕ для неенергоефективних об'єктів для їх удосконалення.

Для класифікації об'єктів за рівнем енергоефективності запропоновано підхід, який базується на використанні меж енергоефективності як розділяючих поверхонь між класами. Процедура класифікації передбачає покрокове застосування методу DEA та побудову межі енергоефективності для групи об'єктів, з якої на кожному наступному кроці вилучено енергоефективні об'єкти. Результатом процедури є побудова набору меж енергоефективності у формі опуклих оболонок, вкладених одна в одну. Об'єкти, що на відповідному кроці утворили групу Парето-ефективних об'єктів належать до од-

ного класу за рівнем енергоефективності. Такий підхід (на відміну від кластерного та дискримінантного аналізу) забезпечує класифікацію об'єктів за рівнем енергоефективності з урахуванням подібності у структурі вхідних/вихідних змінних, а також забезпечує їх позиціонування в межах кожного кластеру. Таке групування об'єктів дозволяє сформувати еталон як збірний образ кращих практик об'єктів, що входять у групу з вищим рейтингом. Це дозволяє сформувати досяжні бенчмарки для неенергоефективних об'єктів. Для виявлення завдань щодо удосконалення енергоефективних об'єктів запропоновано процедуру формування сукупності штучних об'єктів з урахуванням реально досяжних кращих значень вхідних/вихідних змінних. Штучні об'єкти (штучні еталони), що відповідають умові Парето-оптимальності, формують штучну межу енергоефективності, відносно якої позиціонуються реальні енергоефективні об'єкти та формуються енергоефективні цілі.

Концепція пірамідального підходу до оцінки рівня енергоефективності СТС з ієрархічною структурою передбачає, що енергоефективність вищих рівнів СТС визначається енергоефективністю об'єктів нижчих рівнів. Якщо об'єкт вищого рівня має високий рівень енергоефективності, то можна вважати, що об'єкти, які його утворюють, теж мають високий рівень енергоефективності. Класифікація об'єктів ВГ вищого рівня є основою для вирішення питання щодо вибору партнерів бенчмаркінгу для об'єктів нижчого рівня з урахуванням обраного об'єкту наслідування.

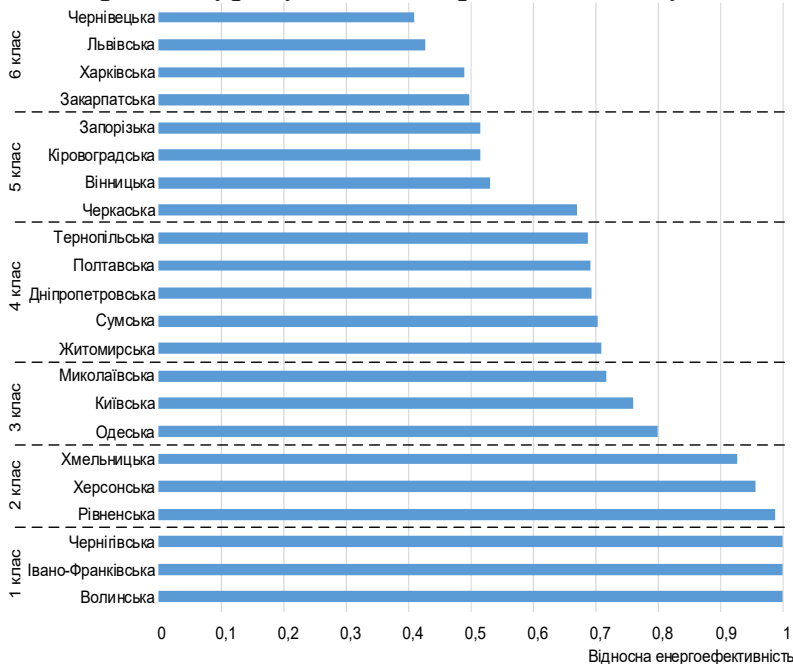


Рис. 2 – Результати рейтингування ВГ регіонів за показником відносної енергоефективності та класифікації за рівнем енергоефективності

Чернігівської областей, що утворили клас 1 за рівнем енергоефективності, та підприємства Рівненської, Херсонської, Хмельницької областей, які утворили клас 2. Оцінку рівня енергоефективності групи підприємств-партнерів бенчмаркінгу виконано із застосуванням моделі кращої енергоефективності. Для їх класифікації застосовано процедуру покрокової побудови меж енергоефективності. Результатом застосування запропонованих процедур є ранжування підприємств за рівнем енергоефективності, визначення абсолютного лідера, груп подібних об'єктів (рис. 3) та формування досяжних бенчмарків, що утворюють об'єкти вищого за рівнем енергоефективності класу (табл.1).

У випадку невеликого числа об'єктів дослідження всі об'єкти можуть бути визнані ефективними і застосування методу DEA втрачає сенс. Тому, для внутрішнього бенчмаркінгу структурних елементів СКВ доцільним є використання методів неграничного бенчмаркінгу, вибір яких визначається постановкою задачі та метою дослідження.

Запропоновані процедури застосовано для оцінювання рівня енергоефективності ВГ на рівні регіонів. Результатом їх застосування є ранжування регіонів за показником відносної енергоефективності, та класифікація регіонів (рис. 2).

Результати класифікації враховано для вибору партнерів бенчмаркінгу енергоефективності на рівні підприємств ВГ. Так як подальші дослідження виконано для підприємств Волинської області, то формування партнерів бенчмаркінгу виконано з урахуванням кластеру області за рівнем енергоефективності. Спираючись на результати класифікації регіонів партнерами бенчмаркінгу вибрано підприємства Волинської, Івано-Франківської,

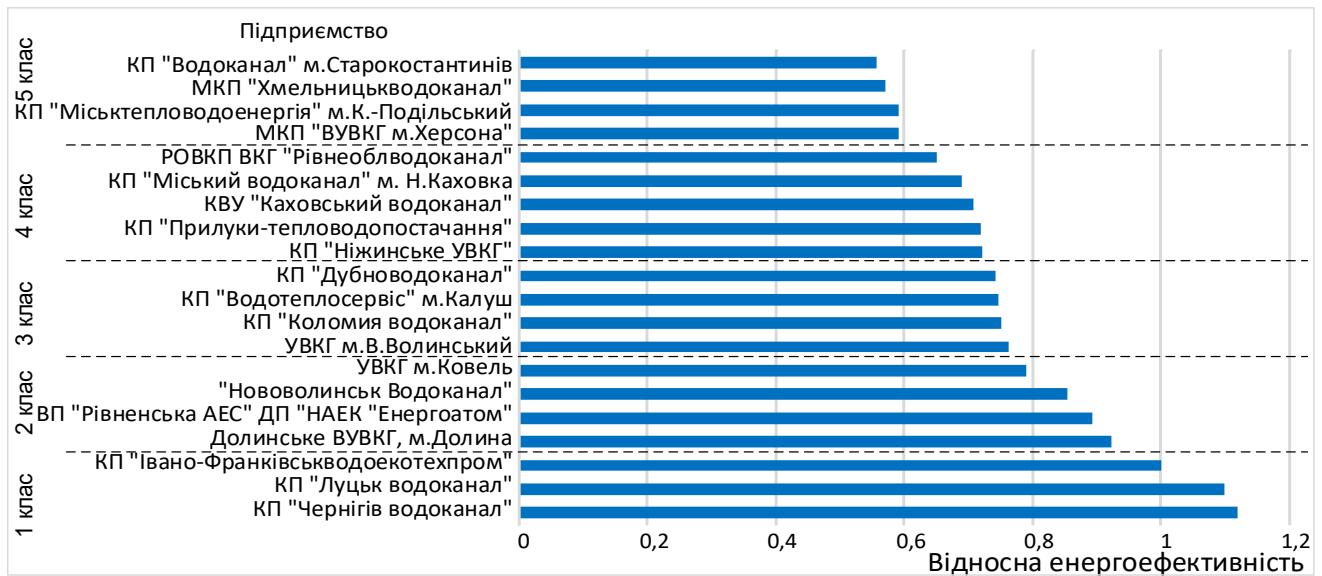


Рис. 3 - Результати рейтингування та класифікації ВГ підприємств

Таблиця 1 – Фрагмент результатів класифікації за рівнем енергоефективності та формування еталонних підприємств (бенчмарків)

Підприємство	Клас тер	Еталонне підприємство та коефіцієнти, з якими вони формують гіпотетичний об'єкт							
		1 кластеру		2 кластеру		3 кластеру		4 кластеру	
		Ваговий коефіцієнт	Еталонне підприємство	Ваговий коефіцієнт	Еталонне підприємство	Ваговий коефіцієнт	Еталонне підприємство	Ваговий коефіцієнт	Еталонне підприємство
МКП "ВУВКГ м. Херсона"	5	1,000	КП "Чернігів-водоканал"	0,583	"Нововолинськ водоканал"	0,862	КП "Водотеплосервіс" м. Калущ	0,652	КВУ "Каховський водоканал"
		0,151	КП "Івано-Франківськ-водокотехпром"	0,417	ВП "Рівненська АЕС" ДП "НАЕК Енергоатом"	0,138	КП "Дубно-водоканал"	0,348	КП "Прилуки-тепловодопостачання"
МКП "Хмельницьк-водоканал"	5	0,530	КП "Чернігів водоканал"	0,995	ВП "Рівненська АЕС" ДП "НАЕК Енергоатом"	0,034	КП "Водотеплосервіс" м. Калущ	0,436	РОВКП ВКГ "Рівне-облводоканал"
		0,470	КП "Луцьк-водоканал"	0,005	"Нововолинськ водоканал"	0,966	КП "Дубно-водоканал"	0,564	КП "Ніжинське УВКГ"
КП "Водоканал" м. Старокоштинів	5	1,000	КП "Чернігів-водоканал"	0,083	"Нововолинськ водоканал"	0,835	КП "Прилуки-тепловодопостачання"	1,000	КВУ "Каховський водоканал"
		0,470	КП "Луцьк-водоканал"	0,917	ВП "Рівненська АЕС" ДП "НАЕК Енергоатом"	0,165	КП "Коломия водоканал"		

Для внутрішнього бенчмаркінгу за умови вибору «ідеального» еталону доцільно застосовувати метод таксономічного показника, який дозволяє позиціонувати об'єкти, визначити кращі та гірші з них, ідентифікувати розрив між об'єктом і еталоном. За його допомогою виконано ранжування водозаборів КП «Луцькводоканал», визначено кращий і гірші об'єкти; ці результати враховано під час контролю електроспоживання.

Застосування методів кількісної оцінки забезпечує позиціонування об'єктів за рівнем енергоефективності, проте, аналіз причин різниці в енергоефективності, шляхів підвищення її рівня є ускладненим. Завдання типологізації об'єктів за рівнем енергоефективності дозволяє розглядати задачу оцінювання рівня енергоефективності як задачу багатокритеріальної послідовної класифікації за окремими класифікаційними характеристиками, які мають вербальні оцінки та агрегуються в складові критерії вищих рівнів. Це забезпечує формування ієрархічної системи класифікаційних критеріїв (рис. 4). На основі побудованих градацій шкали оцінок складового критерію кожного рівня визнача

ється належність об'єкту до одного з впорядкованих за рівнем енергоефективності класів, що мають вербальну оцінку. Це забезпечує якісну оцінку рівня енергоефективності, виявлення недоліків у організації технологічного процесу та прийняття рішення про першочерговість відповідних заходів, спрямованих на підвищення рівня енергоефективності об'єкту дослідження. Перевагою такого підходу є експрес-оцінка рівня енергоефективності та встановлення завдань щодо удосконалення без залучення партнерів бенчмаркінгу шляхом самоаналізу. Спільне використання процедур кількісної оцінки та експрес-оцінки забезпечує оцінювання рівня енергоефективності, формування завдань для підвищення рівня енергоефективності та визначення шляхів їх реалізації.

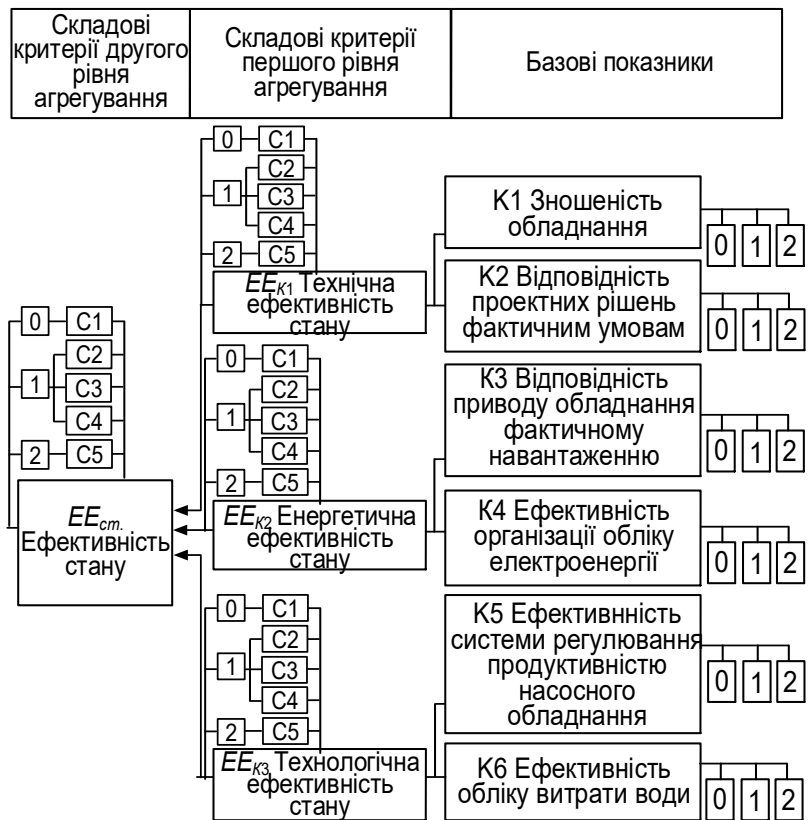


Рис. 4 – Приклад агрегування базових характеристик в складові критерії

У **третьому** розділі розроблено підхід до планування електроспоживання об'єктів ВГ різних ієрархічних рівнів, який базується на застосуванні структурованої багатофакторної моделі електроспоживання, що відповідно до вимог стандартів серії ISO 50000 є адаптованою до циклічних змін умов виробничого процесу водоподачі, що забезпечує визначення БРЕ об'єкту водопостачання для типових умов роботи.

Аналіз чинників, що визначають ефективність електроспоживання об'єктів водопостачання, свідчить: електроспоживання залежить від низки технічних, гідравлічних, технологічних, енергетичних, експлуатаційних чинників та їх кількість є значною; між чинниками наявний взаємозв'язок і його фізичний опис є складним. Режим роботи об'єктів водопостачання визначається водоспоживанням, яке має випадковий характер і формується під впливом сезонних, кліматичних та соціальних чинників. Як наслідок, значна кількість параметрів технологічного процесу водоподачі має ймовірнісний характер, що ускладнює фізичний опис їх впливу на електроспоживання.

Впровадження системи моніторингу процесу водопостачання забезпечує створення баз даних (БД), що містять інформацію про параметри режиму роботи і електроспоживання об'єктів водопостачання. Обґрунтовано, що для вирішення задачі планування електроспоживання доцільним є застосування методів математичного моделювання на основі експериментальних даних про електроспоживання і визначальні змінні, що характеризують процес водоподачі, та формування БРЕ.

Для вирішення питання формування набору визначальних змінних БРЕ з урахуванням ієрархічного рівня об'єкту водопостачання запропоновано процедуру відбору інформативних змінних. Перший її етап передбачає структурування вихідного поля змінних (їх групування) шляхом застосування послідовної багатокритеріальної класифікації за набором класифікаційних характеристик з вербальною шкалою оцінок. Це забезпечує урахування не лише ступеня впливу змінної на електроспоживання, а й її вимірюваності та керованості. Другий етап - перевірка узгодженості думок експертів та значущості відмінності вибраних змінних методом експертних оцінок. Результати експертного оцінювання підтвердили результати групування змінних. При цьому, форму-

вання наборів імовірно істотних визначальних змінних є обґрунтованим. Третій етап - коригування набору істотних змінних з урахуванням періоду дискретизації для збору даних, результатів статистичного аналізу, логічного аналізу взаємозв'язків.

Зважаючи на вимоги до організації контролю ефективності електроспоживання як періоди збору даних вибрано: для об'єктів ВГ вищих рівнів (підприємство, СКВ) та залежно від постановки задачі контролю можливо для структурних елементів - місячну вибірку, яка відображає щомісячні значення електроспоживання, технологічних параметрів процесу водоподачі тощо; для структурних елементів об'єктів ВГ (водозабір, НС) - добову вибірку, яка відображає зміни параметрів щодоби, дозволяє врахувати циклічність процесу водоподачі. Вимога стандартів серії ISO 50000 щодо урахування циклічних змін виробничого процесу під час визначення БРЕ потребує вирішення низки задач, для чого необхідним є формування годинної вибірки, яка відображає зміну технологічних параметрів об'єктів водопостачання за кожен годину протягом доби.

Вибрані періоди дискретизації зумовлюють усереднення низки параметрів процесу водоподачі та їх незмінність (наприклад, середньодобовий тиск в водопровідній мережі). Інші параметри в припущенні забезпечення організації ефективного режиму водоподачі набувають своїх оптимальних значень і також є мало змінними (наприклад, ККД НС). Важливим моментом у процедурі контролю ефективності електроспоживання є використання параметрів, вимірювання яких можливе з необхідною точністю і не є складним. Окремі визначальні змінні мають істотний вплив на електроспоживання, але процедура їх визначення та контролю є складною. Проте, існують інші взаємопов'язані технологічні параметри, які легко вимірюються та контролюються. В роботі наведено приклади пошуку можливої взаємозаміни істотних змінних. Наприклад, як характеристику енергоефективності режиму роботи НС, НА якої відповідно до режиму водоподачі працюють у оптимальному експлуатаційному діапазоні, пропонується використовувати значення надлишкового тиску в диктуючих точках мережі. А для спрощення врахування випадкового характеру водоспоживання як визначальні змінні БРЕ пропонується враховувати морфометричні параметри добового ГВВ, визначені для денних годин. Викладені міркування є основою корегування сформованих наборів визначальних змінних БРЕ для об'єктів ВГ різних ієрархічних рівнів. Остаточний перелік визначальних базового рівня електроспоживання наведено в табл. 3.

Таблиця 3 - Набір визначальних змінних БРЕ для об'єктів ВГ

Об'єкти ВГ	СКВ, водозабір	Насосна станція II-го підйому
Період дискретизації	Місяць	Доба
Визначальні змінні	1. Об'єм піднятої води НС I-го підйому ($Q_{підн}$). 2. Об'єм води, поданої в мережу НС II-го підйому ($Q_{под}$). 3. Втрати води в мережі ($Q_{втр}$). 4. Витрати води (ВВ) на технологічні потреби ($Q_{техн.випр}$).	1. Складові добової ВВ в різні періоди доби (Q_1 - нічний, Q_2 - денний, Q_3 - проміжний). 2. Сумарний добовий надлишковий тиск ΔH_{Σ} . 3. Характеристики нерівномірності добового ГВВ протягом денних годин ($M_{1д}$ - округлість; $M_{2д}$ - компактність; $M_{3д}$ - видовження; $M_{4д}$ - випуклість)

Для забезпечення вимог стандартів серії ISO 50000 щодо урахування коливань виробничого процесу під час визначення БРЕ модель електроспоживання повинна бути адаптованою до збурюючих впливів. Результатом процедури моделювання електроспоживання об'єкту водопостачання є набір моделей, побудованих з урахуванням виявлених в розділі 4 типових умов його роботи.

На основі аналізу методів математичного моделювання, результатів їх застосування для моделювання електроспоживання в СКВ, а також з урахуванням обмеження у обсягах вихідної інформації обґрунтовано доцільність застосування методу групового урахування аргументів (МГУА) для унормування БРЕ до визначальних змінних за вибіркою експериментальних даних в умовах, коли механізм взаємодії параметрів є неві-

домими. Автоматична структурно-параметрична ідентифікація математичної моделі електроспоживання об'єкту водопостачання із застосуванням МГУА-подібних нейронних мереж (НМ) базується на груповому урахуванні визначальних змінних БРЕ та враховує результати формалізованого опису циклічних змін процесу водоподачі.

Для моделювання електроспоживання об'єктів водопостачання застосовано програмну оболонку GMDH Shell DS 3.8.8. Пошук структури моделі електроспоживання виконувався в трьох класах опорних функцій НМ: 1 – лінійна; 2 - поліноміальна 1-ого порядку; 3 - поліноміальна 2-ого порядку. На вхід алгоритму синтезу моделей подавались вибірки ретроспективних даних про електроспоживання W та визначальні змінні БРЕ X_i , сформовані з урахуванням результатів ідентифікації типових умов роботи об'єкту водопостачання. Результатом роботи алгоритму є формування наборів моделей-кандидатів, кожна з яких є оптимальною в своєму класі опорних функцій (рис. 5). Для вибору кращої структури математичної моделі застосовано багатокритеріальний вибір. Для цього сформовано набір критеріїв, до якого увійшли критерії: регулярності $\Delta^2(B)$, незміщеності $n_{зм}^2$, похибки прогнозу $\Delta^2(C)$, коефіцієнт детермінації R^2 .

Цільові функції мають вигляд:

$$\begin{cases} \Delta^2(B) = f_1(y_i; \hat{y}_i) \rightarrow \min; \\ n_{зм}^2 = f_2(\hat{y}_{Ai}; \hat{y}_{Bi}) \rightarrow \min; \\ R^2 = f_4(y_i; \hat{y}_i) \rightarrow \max; \\ \Delta^2(C) = f_1(y_i; \hat{y}_i) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (1)$$

У результаті роботи МГУА НМ сформовано набір моделей-кандидатів, кожна з яких є оптимальною в своєму класі (табл. 4).

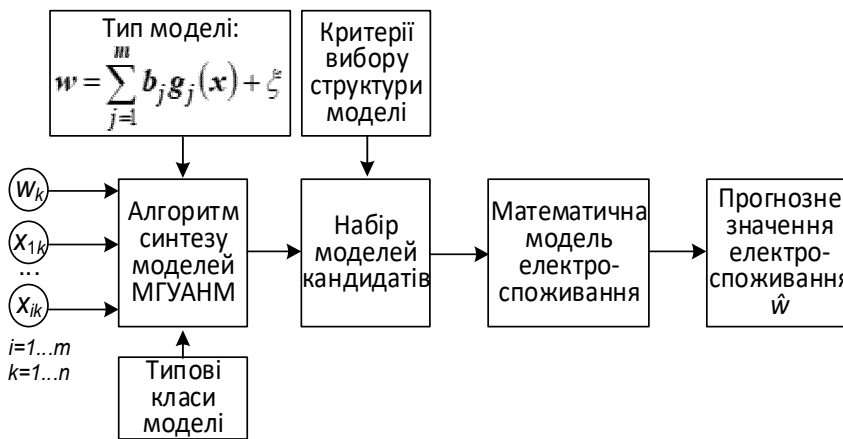


Рис. 5 – Процедура побудови математичної моделі електроспоживання

Таблиця 4 – Результати моделювання, перевірки адекватності моделі, точності прогнозу та багатокритеріального вибору моделі електроспоживання в СКВ

Клас моделі	Вид моделі	Значення критеріїв адекватності моделі та похибки прогнозу						Площа ДРТ
		$\Delta^2(A)$	$\Delta^2(B)$	$n_{зм}^2$	R	R^2	$\Delta^2(C)$	
1	$Y1 = -34,05 + 0,38 \cdot N5 + 0,65 \cdot N9$ $N5 = 488,81 + 2,06 \cdot Q_{\text{техн.витр}} + 0,59 \cdot Q_{\text{втр}}$ $N9 = 21,82 + 39,42 \cdot N12 - 38,44 \cdot N13$ $N13 = -179,75 + 0,11 \cdot Q_{\text{підн}} + 1,80 \cdot Q_{\text{техн.витр}}$ $N12 = -174,41 + 0,51 \cdot Q_{\text{под}} + 2,31 \cdot Q_{\text{техн.витр}}$	0,00091	0,0052	0,0006	0,9942	0,9964	0,0041	0,4228
2	$Y1 = 617,31 - 0,47 \cdot N4 + 0,086 \cdot N4 \cdot N5$ $N5 = 143,137 - 2,87 \cdot Q_{\text{втр}} + 0,02 \cdot Q_{\text{втр}} \cdot N6 + 1,09 \cdot N6$ $N6 = 55,46 + 6,19 \cdot N11 - 5,26 \cdot N16 \cdot N11$ $N11 = -368,64 + 0,63 \cdot Q_{\text{под}} - 0,15 \cdot Q_{\text{под}} \cdot Q_{\text{втр}} + 3,21 \cdot Q_{\text{втр}}$ $N16 = -391,318 + 0,063 \cdot Q_{\text{підн}} - 0,012 \cdot Q_{\text{підн}} \cdot Q_{\text{техн.витр}} + 2,66 \cdot Q_{\text{втр}}$ $N4 = 405,23 + 0,06 \cdot N16 \cdot N17$ $N17 = -174,49 + 0,51 \cdot Q_{\text{под}} + 2,31 \cdot Q_{\text{техн.витр}}$	0,00089	0,0023	0,0002	0,9998	0,9992	0,0016	0,3375
3	$Y1 = 460,5 - 0,29 \cdot Q_{\text{под}} + 0,04 \cdot Q_{\text{под}} \cdot N2 + 0,42 \cdot N2 - 0,01 \cdot N2^2$ $N2 = -329,8 - 0,01 \cdot N8 \cdot N3 + 0,08 \cdot N8^2 + 1,82 \cdot N3 + 0,02 \cdot N3^2$ $N3 = 33,52 + 0,92 \cdot N6 - 0,19 \cdot N5 \cdot N4 + 0,09 \cdot N6^2 + 0,11 \cdot N4^2$ $N4 = -1622,86 + 2,24 \cdot Q_{\text{підн}} - 0,05 \cdot Q_{\text{под}}^2$ $N5 = 420,31 + 0,006 \cdot Q_{\text{техн.витр}} \cdot Q_{\text{втр}} + 1,54 \cdot Q_{\text{втр}} - 0,003 \cdot Q_{\text{втр}}^2$ $N6 = -897,17 + 2,23 \cdot Q_{\text{под}} - 0,51 \cdot Q_{\text{втр}}^2 + 2,33 \cdot Q_{\text{техн.витр}}$ $N8 = 428,16 - 0,01 \cdot Q_{\text{под}} \cdot N12 + 0,005 \cdot Q_{\text{под}}^2 + 0,01 \cdot N12^2$ $N12 = -391,3 + 0,63 \cdot Q_{\text{підн}} - 0,001 \cdot Q_{\text{підн}} \cdot Q_{\text{техн.витр}} + 2,6 \cdot Q_{\text{втр}}$	0,00087	0,0022	0,0005	0,9992	0,9962	0,0026	0,512

Ускладнення моделі полінома не призводить до значного підвищення якості мо-

делювання та зниження похибки прогнозу. Отримані результати не дають однозначної відповіді щодо кращої структури моделі. Тому, сукупність критеріїв якості моделі та похибки прогнозу запропоновано представити у вигляді ДРТ та визначити площу S утвореної фігури. Всі критеріїй приведені до одного виду за функцією цілі (для цього введено величину: $Toler R^2 = 1 - R^2$) та виражено по відношенню до максимального їх значення. Умова вибору кращої структури моделі електроспоживання має вигляд:

$$S = f(x_{a_i}, y_{a_i}) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Застосування запропонованого підходу забезпечує вибір кращої структури моделі електроспоживання. Як модель електроспоживання прийнято поліноміальну модель першого порядку (табл. 4), якій відповідає мінімум критерію (2).

Таблиця 5 – Фрагмент результатів моделювання електроспоживання об'єктів водопостачання

Об'єкт	Сезон	Тип дня	Вид моделі	$\Delta^2(C)$
СКВ	-	-	$Y1 = 617,31 - 0,47 \cdot N4 + 0,086 \cdot N4 \cdot N5$ $N5 = 143,13 - 2,87 \cdot Q_{\text{втр}} + 0,02 \cdot Q_{\text{втр}} \cdot N6 + 1,09 \cdot N6$ $N6 = 55,46 + 6,19 \cdot N11 - 5,26 \cdot N16 \cdot N11$ $N11 = -368,64 + 0,63 \cdot Q_{\text{под}} - 0,15 \cdot Q_{\text{под}} \cdot Q_{\text{втр}} + 3,21 \cdot Q_{\text{втр}}$ $N16 = -391,33 + 0,63 \cdot Q_{\text{підн}} - 0,012 \cdot Q_{\text{підн}} \cdot Q_{\text{втр}} + 2,66 \cdot Q_{\text{втр}}$ $N4 = 405,23 + 0,06 \cdot N16 \cdot N17$ $N17 = -174,49 + 0,51 \cdot Q_{\text{под}} + 2,31 \cdot Q_{\text{техн.втр}}$	0,0016
НС II-го підйому	Зима	Робочий	$Y1 = 9,51 + 0,25 \cdot N30 \cdot N41$ $N41 = 3,65 + 0,4 \cdot N77 \cdot N83$ $N83 = 11,83 + 0,46 \cdot Q_2 \cdot \Delta H$ $N30 = 3,23 + 0,44 \cdot N77 \cdot N85 - 0,77 \cdot N85$ $N85 = 5,74 + 8,71 \cdot M_{1д} \cdot M_{3д} - 6,05 \cdot M_{2д}$ $N77 = 103,43 - 0,025 \cdot Q_1 + 0,008 \cdot Q_1 \cdot Q_3 - 0,01 \cdot Q_3$	0,0012
		Вихідний	$Y1 = 11,05 - 0,73 \cdot N6 + 0,28 \cdot N2$ $N2 = -24,88 + 0,18 \cdot Q_2 + 0,017 \cdot Q_3 \cdot N3 - 0,11 \cdot Q_3$ $N3 = 16,164 - 0,046 \cdot Q_1 + 0,29 \cdot Q_2 \cdot N9$ $N9 = -75,035 - 26,26 \cdot M_{2д} + 54,39 \cdot M_{2д} \cdot M_{3д} - 15,46 \cdot M_{1д} + 37,96 \cdot M_{4д}$ $N6 = -26,42 + 0,01 \cdot Q_3 - 0,007 \cdot Q_3 \cdot N8 + 0,13 \cdot N8$ $N8 = 910,37 - 0,03 \cdot Q_1 + 0,024 \cdot Q_2 \cdot \Delta H - 795,2 \cdot M_{2д}$	0,0037

Аналогічним чином виконано побудову моделей-кандидатів та вибір кращої структури моделі електроспоживання НС II-го підйому для кожного типового дня типового сезону (табл. 5). Побудовані моделі мають похибку прогнозу електроспоживання, що не перевищує 1%.

Завершальним етапом процедури планування електроспоживання є визначення БРЕ об'єкту водопостачання на основі планових значень визначальних змінних для запланованого режиму роботи об'єкту та з урахуванням вибраного проміжку дії БРЕ.

У випадку планування на рівні підприємства планові значення визначальних змін-

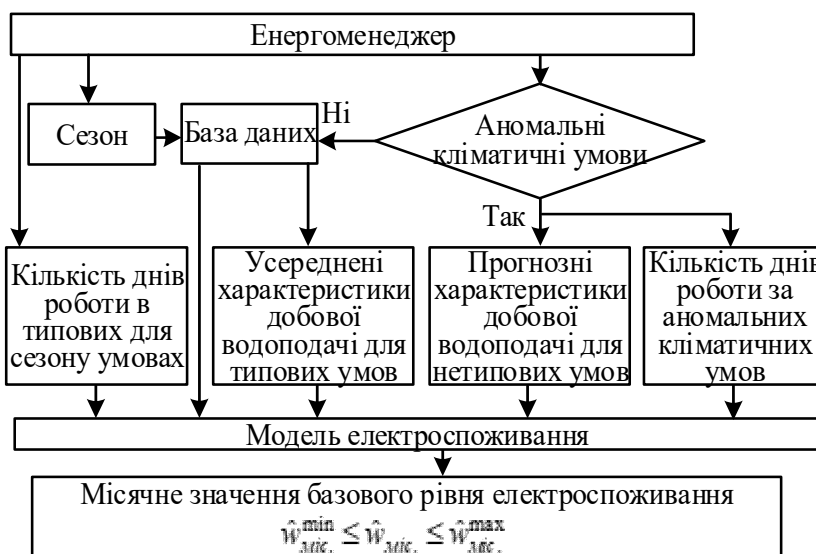


Рис. 6 – Процедура визначення БРЕ СКВ для відповідного сезону з урахуванням тривалості сезону впродовж розрахункового мі-

них визначаються на основі їх усереднених добових значень для відповідного сезону та кількості днів в місяці (рис. 6). Наведені в розділі 4 результати моніторингу циклічних змін ВВ вказують на неспівпадання періодів зміни сезону із початком (кінцем) місяця. Впродовж місяця необхідно враховувати усереднені параметри різних сезонів. Місячне значення електроспоживання визначається на основі математичної моделі електроспоживання та планових значень визначальних змінних

сяця. У випадку коригування режиму водоподачі з урахуванням впливу кліматичних чинників в окремі дні місяця, місячне значення електроспоживання обчислюється з урахуванням *прогнозних* добових значень визначальних змінних для цих днів.

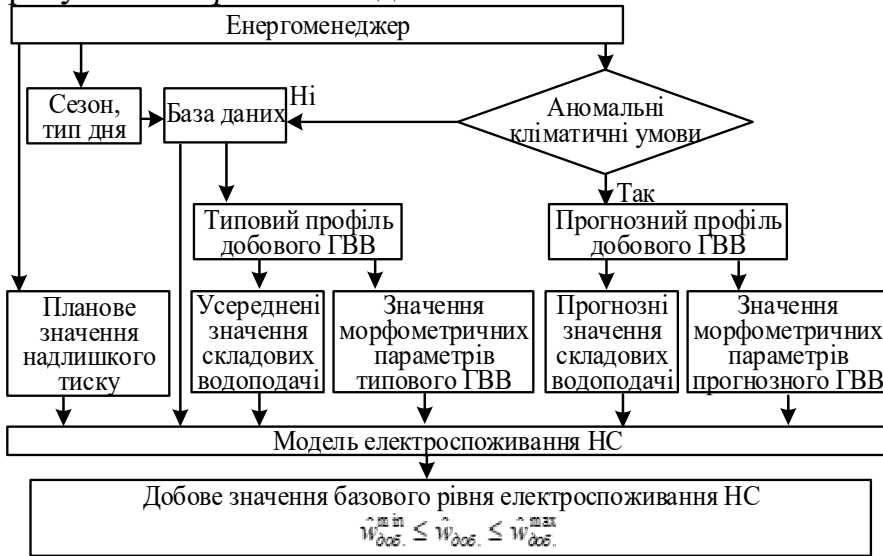


Рис. 7 – Процедура визначення BRE НС

Як планові значення технологічних параметрів водоподачі на рівні НС приймаються їх *усереднені* значення з урахуванням сезону та типу дня (рис. 7). Процедура їх визначення на основі формалізованого опису режиму водоподачі описана в розділі 4. Добове значення BRE визначається на основі математичної моделі електроспоживання для типового дня типового сезону та *усереднених* добових значень

визначальних змінних, визначених з урахуванням *типового* профілю добового ГВВ для даного типу дня. Процедура контролю ефективності електроспоживання, розглянута в розділі 5, передбачає урахування впливу аномальних кліматичних чинників. Тоді планування добової ВВ представляє собою процедуру визначення її *прогнозного* значення з урахуванням впливу кліматичних чинників і розглянута в розділі 4. Добове значення BRE визначається на основі математичної моделі електроспоживання для типового дня відповідного сезону та *прогнозних* добових значень визначальних змінних, визначених з урахуванням *прогнозного* профілю добового ГВВ для даного типу дня.

У **четвертому** розділі розглянуто питання моніторингу циклічних змін процесу водоподачі, зумовлених впливом сезонних і соціальних чинників, та запропоновано підхід до ідентифікації та формалізованого опису типових умов роботи об'єктів.

Режим подачі води в мережу водопостачання визначається поточним водорозбором (витратою води з мережі водопостачання), що залежить від режиму водоспоживання. Основним режимним показником процесу водопостачання є добовий ГВВ. Аналіз добових ГВВ з мережі водопостачання КП «Луцькводоканал» показав: вплив сезонних чинників відображається у зміні *об'ємів добової ВВ*, а вплив соціальних – *форми добового ГВВ*. Для опису добового ГВВ для виявлення впливу сезонності

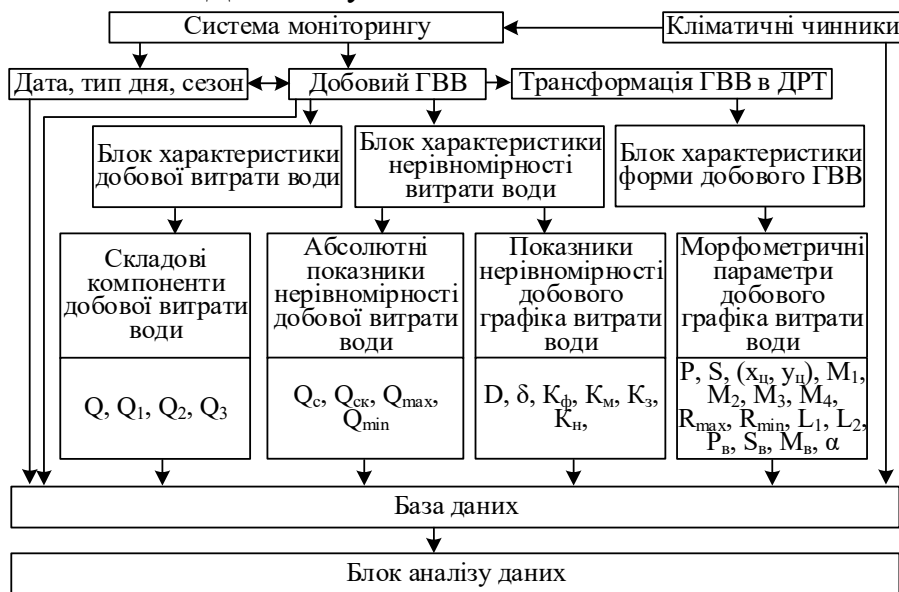


Рис. 8 - Формування бази даних моніторингу ВВ

методом головних компонент виділено домінуючі складові добової ВВ (у нічний Q_1 , денний Q_2 та проміжний Q_3 період доби). Для опису форми добового ГВВ його представлено у вигляді діаграми радарного типу (ДРТ) та застосовано морфометричний підхід. Опис добового ГВВ та його нерівномірності виконано за допомогою блоків (рис. 8). Характеристики блоків 1,2 формують ознаковий простір для виявлення впливу на ВВ

сезонних чинників; блоку 3 - виявлення впливу соціальних чинників. Запропонований спосіб формування ознакового інформаційного простору характеристики добової ВВ дає змогу підвищити інформативність результатів моніторингу її циклічних змін.

Основою підходу виявлення циклічних змін водоподачі є процедура виділення подібності добових ГВВ (рис. 9). Вона передбачає послідовне застосування методів кластерного (КА) і дискримінантного аналізу (ДА) для формування інформаційної бази знань, та уточнення правил класифікації шляхом побудови класифікатора добових ГВВ, здатного зважаючи на можливість утворення малих вибірок до самоорганізації. Обґрунтовано доцільність застосування МГУАНМ для побудови класифікатора.

Процедура класифікації добових ГВВ містить два етапи: 1) за впливом сезонності; 2) за впливом соціальних чинників (типом дня) з урахуванням сезонності. На етапі 1 як класифікаційні характеристики використано: x_1 - об'єм добової ВВ Q ; x_2 - ВВ у нічний період доби Q_1 ; x_3 - ВВ у денний період доби Q_2 ; x_4 - ВВ у проміжний період ранішнього та вечірнього водоспоживання Q_3 ; x_5 - максимальне значення добової ВВ Q_{\max} ; x_6 - мінімальне значення добової ВВ; x_7 - мінімальне значення ВВ протягом денних годин доби $Q_{\min, \text{д}}$; x_8 - середньодобове значення ВВ з мережі $Q_{\text{сер}}$; x_9 - середнє значення ВВ протягом денних годин $Q_{\text{сер}, \text{д}}$; x_{10} - дисперсія D ; x_{11} - дисперсія за день $D_{\text{д}}$. На етапі 2 використано морфометричні параметри: x_{12} - периметр

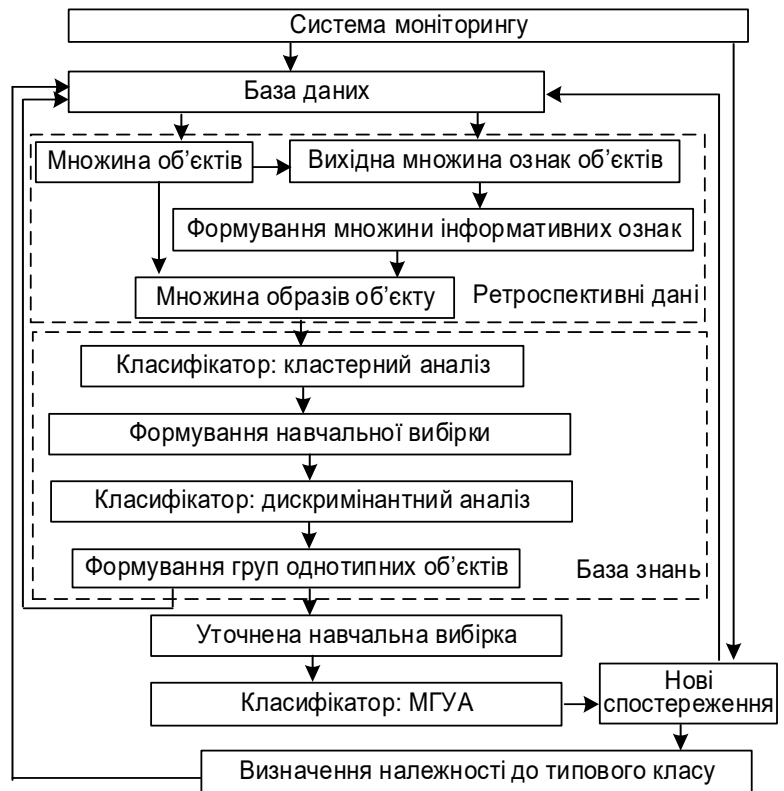


Рис. 9 – Укрупнена процедура класифікації ГВВ

ДРТ P ; x_{13} - площа ДРТ S ; x_{14} - R_{\min} ; x_{15} - R_{\max} ; x_{16} - округлість M_1 ; x_{17} - компактність M_2 ; x_{18} - видовження M_2 ; x_{19} - головна вісь видовження L_1 ; x_{20} - додаткова вісь видовження L_2 ; x_{21} - кут видовження α ; x_{22} - випуклість M_4 ; x_{23} - периметр випуклості P_6 ; x_{24} - площа випуклості S_6 ; x_{25} - компактність випуклості M_6 ; x_{26} - зміщення координат центра ваги.

Результати використання стандартних процедур КА і ДА підтвердили припущення про наявність закономірностей у характері ВВ залежно від сезону та типу дня.

Процедура побудови класифікатора передбачає два етапи (рис. 10): побудова класифікатора, який розділяє ГВВ на 4 класи за сезоном, а потім побудова трьох класифікаторів, що розділяють ГВВ кожного сезону на 3 класи за типом дня.

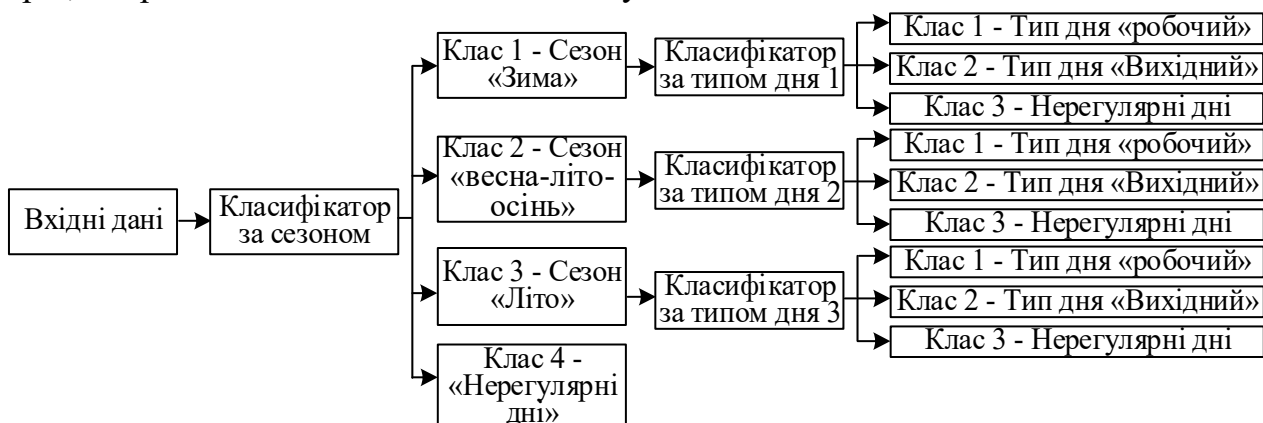


Рис. 10 – Двоетапна процедура побудови класифікаторів

Завдання побудови правила класифікації в МГУА представляється як завдання індуктивної побудови моделі. Як алгоритм синтезу моделей обрано МГУА НМ. Пошук моделі класифікатора виконано в трьох класах НМ: 1 – лінійна; 2 - поліноміальна 1-ого порядку; 3 - поліноміальна 2-ого порядку. На основі верифікації моделей-класифікаторів різного типу (табл. 6) вибрано модель-класифікатор, що має кращі характеристики результатів класифікації за критерієм регулярності:

$$\begin{aligned} Y &= -0,025 + 0,051 \cdot x_{11} + 1,095 \cdot N_2 \\ N_2 &= 0,042 - 0,094 \cdot x_5 + 0,841 \cdot N_4 \\ N_4 &= 0,0213 - 0,453 \cdot x_1 - 0,248 \cdot x_1 \cdot x_7 + 0,117 \cdot x_1^2 + 0,277 \cdot x_7 + 0,081 \cdot x_7^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Таблиця 6 – Результати верифікації класифікатора за сезоном

Клас моделі	Навчальна вибірка			Екзаменаційна вибірка			Критерій регулярності
	Вірно класифікованих	Невірно класифікованих	Зважена F-міра	Вірно класифікованих	Невірно класифікованих	Зважена F-міра	
1	246 (84,5%)	45 (15,5%)	0,839	63 (86,3%)	10 (13,7%)	0,858	0,03
2	266 (91,4%)	25 (8,9%)	0,913	66 (90,4%)	7 (9,6%)	0,906	0,0021
3	277 (95,2%)	14 (4,8%)	0,952	69 (94,5%)	4 (5,5%)	0,945	0,002

Аналогічно побудовано класифікатори за типом дня для кожного сезону (табл. 7). Результати верифікації класифікаторів і перевірки ефективності роботи моделей-класифікаторів на основі матриць класифікації для навчальної і перевіркової вибірок підтвердили достатньо високу якість класифікації.

Запропонований підхід базується на побудові моделей-класифікаторів кращої структури в просторі параметрів об'єктів класифікації. Це дозволило не лише виявити закономірності у характері ВВ, часові діапазони для визначення (спостереження) визначальних змінних і побудови БРЕ, а й спростити процедуру ідентифікації належності нових добових ГВВ до типових класів (рис. 11).

Вона виконується у два етапи: 1) перевірка належності добового ГВВ до класу за сезоном; 2) якщо добовий ГВВ не належить до класу нерегулярних днів, то здійснюється ідентифікація за типом дня. Перевірка умови не належності ГВВ до класу нерегулярних днів зумовлена необхідністю коректного формування БРЕ та контролю електроспоживання.

Формування груп подібних добових ГВВ забезпечує формування вибірок ретроспективних даних і формалізований опис циклічних змін водоподачі. Він передбачає визна-

Таблиця 7 – Моделі-класифікатори за типом дня

Сезон	Модель
Зима	$Y = -0,004 - 0,032 \cdot x_{18} + 1,0075 \cdot N_2$ $N_2 = 0,016 + 0,158 \cdot x_{21} \cdot N_3 - 0,0046 \cdot x_{21}^2 + 0,956 \cdot N_3$ $N_3 = -0,092 - 1,674 \cdot N_8 - 2,88 \cdot N_8 \cdot N_5 + 2,666 \cdot N_8^2 + 3,013 \cdot N_5$ $N_5 = 0,0519 + 0,064 \cdot x_{13} + 0,148 \cdot x_{13} \cdot N_8 + 0,846 \cdot N_8$ $N_8 = 0,677 + 0,152 \cdot x_{16} - 0,124 \cdot x_{16}^2 + 0,286 \cdot x_{22}$
Весна-літо-осінь	$Y = -0,0078 + 0,027 \cdot x_{22} + 1,037 \cdot N_2$ $N_2 = -0,0092 + 0,037 \cdot x_{16} + 1,01 \cdot N_3$ $N_3 = 0,0103 - 0,063 \cdot x_{18} + 0,962 \cdot N_5$ $N_5 = 0,052 + 0,171 \cdot x_{21} - 0,303 \cdot x_{21} \cdot x_{13} + 0,141 \cdot x_{21}^2 - 0,351 \cdot x_{13} + 0,251 \cdot x_{13}^2$
Літо	$Y = -0,003 + 0,0085 \cdot x_{22} + 1,013 \cdot N_3$ $N_3 = 0,0026 + 0,0178 \cdot x_{16} + 0,977 \cdot N_6$ $N_6 = -0,014 + 0,708 \cdot N_{14} + 0,381 \cdot N_{15}$ $N_{15} = -0,027 + 0,097 \cdot x_{18} + 0,13 \cdot x_{18} \cdot x_{13} + 0,157 \cdot x_{18}^2 + 0,075 \cdot x_{13}$ $N_{14} = 0,148 - 0,021 \cdot x_{21} - 0,341 \cdot x_{21}^2$

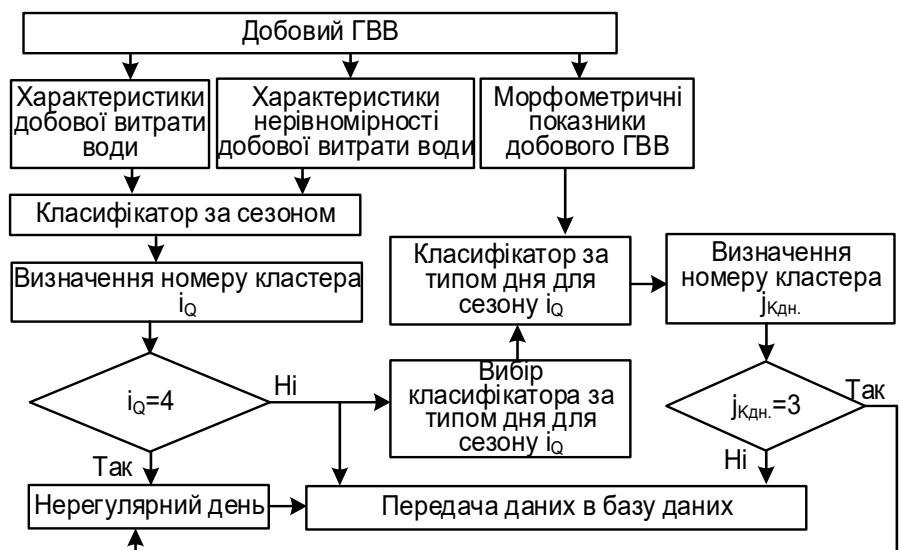


Рис. 11 – Алгоритм ідентифікації належності ГВВ до кластерів

Він передбачає визна-

чення усереднених значень характеристик водоподачі (добової ВВ, її складових тощо) і меж їх зміни для кожного з кластерів. Усередненим значенням характеристики водоподачі є вибіркове математичне сподівання її значень для об'єктів певного кластеру:

$$\bar{\Pi} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \Pi_j, \quad (4)$$

де m – кількість об'єктів в кластері; Π_j - значення характеристики добової ВВ з мережі водопостачання для j -го дня.

Довірчий інтервал вибіркового математичного сподівання:

$$\bar{\Pi} - \frac{s}{\sqrt{m}} t_{[1-\alpha/2, (m-1)]} < \bar{\Pi} < \bar{\Pi} + \frac{s}{\sqrt{m}} t_{[1-\alpha/2, (m-1)]}, \quad (5)$$

де $t_{[1-\alpha/2, (m-1)]}$ - квантиль розподілу Стюдента для заданої довірчої імовірності $(1-\alpha)$ з $(m-1)$ ступенями вільності; α - рівень значущості, визначає ймовірність допущення помилок $\alpha=1-p$; s – вибіркове середньоквадратичне відхилення.

Побудований з довірчою імовірністю $p=0,997$ довірчий інтервал приймається в якості допустимих меж зміни характеристики водоподачі $[\Pi_{\min}, \Pi_{\max}]$.

Фактичний добовий ГВВ являє собою діапазон значень в полі координат $Q-t$, обмежений кривими максимального і мінімального водоспоживання. Аналіз подібних добових ГВВ забезпечив формування усереднених добових ГВВ для типових днів. Для цього процедуру визначення усереднених добових характеристик водоподачі застосовано до наборів погодинних значень ВВ. В результаті отримано щогодинні усереднені значення добової ВВ та межі її зміни, тобто, набори добових ГВВ для типових днів кожного сезону, що відповідають середній, максимальній та мінімальній добовій ВВ. Набір отриманих ГВВ формує типовий профіль добового ГВВ для типового дня і є основою для планування режиму водоподачі. Визначення морфометричних параметрів кожного з профілів добового ГВВ забезпечує усереднений опис його форми.

Аналіз подібних добових ГВВ виявив: 1) *середньодобове значення ВВ* мало відрізняється для робочих та вихідних днів в межах кожного сезону; 2) *форма профілів ГВВ* є відмінною і характеризується *зміщенням максимумів профіля* добового ГВВ вихідного дня у порівнянні із профілем робочого дня; 3) у вихідні дні профіль добового ГВВ є менш нерівномірним, ніж у робочі (це підтвердив аналіз результатів опису форми профілів добового ГВВ для робочих і вихідних днів). Враховуючи отримані результати виконано уточнення домінуючих складових добового ГВВ з урахуванням типу дня (табл. 8). Ці результати є основою урахування циклічних змін процесу водоподачі під час формування БРЕ і одним з елементів процедури контролю ефективності електро-

споживання для врахування фактичних умов роботи об'єкту водопостачання та налаштування інструментів сигналізації.

Визначення значення добової ВВ є одним з етапів планування. Виявлення циклічних змін у ВВ, її формалізований опис для типових за сезоном класів дозволяє лише усереднено врахувати вплив

кліматичних чинників. Для урахування впливу аномальних кліматичних чинників запропоновано спосіб коригування характеристик добової ВВ шляхом прогнозування добової ВВ та профіля її добового ГВВ. Передбачається, що на значення добової ВВ q_t впливають чинники: x_1 - середньодобове значення температури $\theta_{\text{сер}}$; x_2 - максимальне значення добової температури θ_{max} ; x_3 - мінімальне значення температури θ_{min} ; x_4 - кількість опадів RR ; x_5 - вологість UU . Процедура базується на урахуванні тенденції зміни ВВ та кліматичних чинників і передбачає автоматичну структурно-параметричну іден-

Таблиця 8 – Рівняння складових добової ВВ для типових днів

Інтерпретація складових добової ВВ	Тип дня	
	Робочий	вихідний
у нічний період доби	$Q_1 = \sum_{j=1}^6 Q(t_j)$	$Q_1 = \sum_{j=1}^6 Q(t_j)$
у денний період доби	$Q_2 = \sum_{j=8}^{22} Q(t_j)$	$Q_2 = \sum_{j=9}^{22} Q(t_j)$
у проміжний період доби	$Q_3 = \sum_{j=(7,23,24)} Q(t_j)$	$Q_3 = \sum_{j=(7,8,23,24)} Q(t_j)$

тифікацію математичної моделі шляхом їх групового урахування на основі МГУАНМ. Для прогнозування використано модель ВВ як динамічного процесу, що змінюється в часі та зазнає впливу змінних в часі зовнішніх чинників x . Пошук оптимальної структури моделі виконано в трьох класах НМ: 1 - лінійна; 2 - поліноміальна першого порядку; 3 - поліноміальна другого порядку. На вхід алгоритму синтезу моделей подаються ретроспективні вибірки даних об'ємом n для добової ВВ q_t та m кліматичних чинників x_t . Результатом роботи алгоритму МГУА НМ є формування наборів моделей-кандидатів, кожна з яких є оптимальною в заданому класі опорних функцій (рис. 12). Вибір кращої структури математичної моделі добової ВВ передбачає застосування багатокритеріального вибору моделі. Результатом процедури моделювання є прогнозне значення добової ВВ. Під час моделювання враховано тижневу циклічність ВВ з мережі водопостачання. У результаті роботи алгоритму отримано модель оптимальної складності в кожному класі опорних функцій.

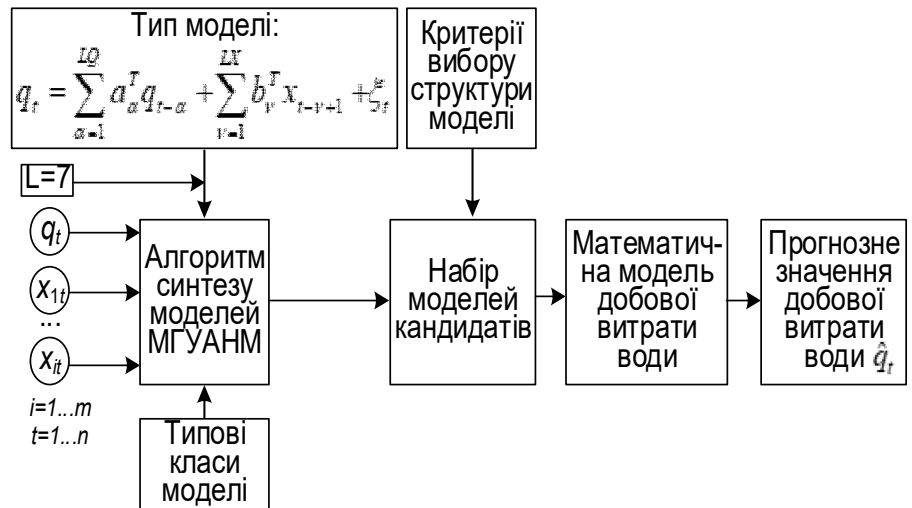


Рис.12 – Побудова математичної моделі добової ВВ

На основі багатокритеріального аналізу адекватності моделей і похибки прогнозу відібрано кращі математичні моделі добової ВВ для кожного сезону (табл. 9). Аналіз результатів показав: для сезону «зима» вплив кліматичних чинників на добову ВВ практично відсутній. В інші сезони істотним чинником є температура повітря.

Таблиця 9 - Математичні моделі добової витрати води з мережі водопостачання

Кластер	Математична модель	$\Delta^2(C)$
1 (Літо)	$Q(t) = -213,26 + 7,9 \cdot Q[t-7] + 0,9 \cdot N5(t) - 0,05 \cdot Q[t-7] \cdot N5(t) + 0,4 \cdot N8(t) - 0,001 \cdot N6(t) \cdot N8(t)$ $N5(t) = 286,46 + 8,17 \cdot Q[t-7] + 0,57 \cdot Q[t-7] \cdot \theta_{\max} + 55,9 \cdot (Q[t-7])^{(1/3)}$ $N5(t) = 174,92 + 0,37 \cdot \theta_{\text{сеп}} + 2,16 \cdot Q[t-7] \cdot \theta_{\text{сеп}} + 1,9 \cdot \theta_{\max} \cdot (Q[t-7])^{(1/3)}$	0,011
2 (Зима)	$Q(t) = 290,15 + 37,9 \cdot Q[t-7] + 0,76 \cdot N3(t) - 0,04 \cdot Q[t-7] \cdot N3(t)$ $N3(t) = 415,21 + 10,19 \cdot Q[t-7] - 0,0015 \cdot \theta_{\text{сеп}} + 0,002 \cdot \theta_{\max} + 7,9 \cdot (Q[t-7])^{(1/3)}$	0,004
3 (Весна-літо-осінь)	$Q(t) = 185,4 + 27,9 \cdot Q[t-7] + 5,13 \cdot N6(t) \cdot N8(t) - 0,02 \cdot N6(t) - 1,54 \cdot N8(t)$ $N6(t) = 915,57 + 87,9 \cdot Q[t-7] - 0,41 \cdot Q[t-7] \cdot \theta_{\max} - 6,37 \cdot Q[t-7] \cdot \theta_{\text{сеп}} + 0,08 \cdot (Q[t-7])^{(1/3)}$ $N8(t) = -237,5 + 19,5 \cdot Q[t-7] - 0,64 \cdot \theta_{\text{сеп}} + 0,6 \cdot \theta_{\text{сеп}} \cdot \theta_{\max} - 0,017 \cdot RR + 5,6 \cdot \theta_{\max}$	0,006

Прогнозування профілю добового ГВВ передбачає визначення погодинної ВВ на добу вперед. Результати аналізу впливу кліматичних чинників на ВВ в різні сезони зумовили дві постановки задачі прогнозування ВВ як часового ряду: 1) сезон зима - без урахування кліматичних чинників; 2) інші сезони - з урахуванням впливу кліматичних чинників. Для першої задачі використано авторегресійну модель добового ГВВ. Друга задача аналогічна задачі прогнозування добової ВВ. Вхідними даними є: сезон «зима» - добові ГВВ; інші сезони - добові ГВВ відповідного сезону та добові графіки температури. Пошук оптимальної моделі виконано в класах НМ: 1 – лінійна; 2 - поліноміальна 1-ого порядку; 3 - поліноміальна 2-ого порядку. У результаті отримано модель оптимальної складності в кожному класі опорних функцій. На основі багатокритеріального аналізу адекватності моделей та похибки прогнозу вибрано кращу модель для прогнозування профілю добового ГВВ для кожного типового дня кожного сезону (табл. 10). Результатом процедури є прогноз ВВ (середнє значення та довірчий інтервал) для кожної i -тої години доби, які утворюють прогнозний профіль добового ГВВ, що дає змогу визначити прогнозні значення складових добової ВВ для типового дня відповідного сезону, а його опис – прогнозні значення морфометричних параметрів.

Таблиця 10 - Математичні моделі профілю добового ГВВ

Кластер за сезо-ном	Кластер за типом дня	Модель профілю добового ГВВ	$\Delta^2(C)$
1 (Літо)	1 - робочий	$Q(t)=157,9+1,31 \cdot N7(t)+0,02 \cdot N7(t) \cdot N8(t)-0,028 \cdot (N7(t))^2$ $N7(t)=515,57+15,95 \cdot Q[t-24]-0,57 \cdot Q[t-24] \cdot (Q[t-24])^{(1/3)}-16,48 \cdot (Q[t-24])^{(2/3)}$ $N8(t)=-276,7-0,68 \cdot \theta[t-24]+0,81 \cdot \theta[t-24] \cdot (Q[t-24])^{(1/3)}+51,6 \cdot (Q[t-24])^{(1/3)}$	0,016
	2 - вихідний	$Q(t)=443,7-0,03 \cdot Q[t-24] \cdot N6(t)+0,01 \cdot (Q[t-24])^2-0,018 \cdot (N6(t))^2$ $N6(t)=-368,82+0,12 \cdot \theta[t-24]-3,64 \cdot (\theta[t-24])^2+1,77 \cdot Q[t-24]-0,002 \cdot (Q[t-24])^2$	0,019
2 (Зима)	1 - робочий	$Q(t)=458,36+0,26 \cdot N3(t) \cdot (Q[t-24])^{(1/3)}-13,22 \cdot (Q[t-24])^{(2/3)}-0,02 \cdot (N3(t))^2$ $N3(t)=-4768,82+76,92 \cdot Q[t-24]-2,54 \cdot Q[t-24] \cdot (Q[t-24])^{(1/3)}+0,008 \cdot (Q[t-24])^2+$ $+408,56 \cdot (Q[t-24])^{(1/3)}-85,26 \cdot (Q[t-24])^{(2/3)}$	0,0046
	2 - вихідний	$Q(t)=-916,83+384,6 \cdot (Q[t-24])^{(1/3)}+2,78 \cdot N4(t) \cdot (Q[t-24])^{(1/3)}-38,9 \cdot (Q[t-24])^{(2/3)}-$ $-12,35 \cdot N4(t)-0,06 \cdot (N4(t))^2$ $N3(t)=603,61+29,03 \cdot Q[t-24]-1,74 \cdot Q[t-24] \cdot (Q[t-24])^{(1/3)}+0,01 \cdot (Q[t-24])^2-$ $-418,8 \cdot (Q[t-24])^{(1/3)}-35,41 \cdot (Q[t-24])^{(2/3)}$	0,0051
3 (Весна-літо-осінь)	1 - робочий	$Q(t)=-269,43+2,9 \cdot N5(t)+0,04 \cdot N5(t) \cdot N8(t)-0,02 \cdot (N5(t))^2-1,08 \cdot N8(t)-0,01 \cdot (N8(t))^2$ $N5(t)=-1118,4+19,25 \cdot Q[t-24]-7,57 \cdot Q[t-24] \cdot (Q[t-24])^{(1/3)}+0,5 \cdot (Q[t-24])^2+$ $+843,4 \cdot (Q[t-24])^{(1/3)}-192,5 \cdot (Q[t-24])^{(2/3)}$ $N8(t)=-214,5+0,14 \cdot \theta[t-24]+0,08 \cdot (\theta[t-24])^2+341,5 \cdot (Q[t-24])^{(1/3)}$	0,0078
	2 - вихідний	$Q(t)=260,11-0,02 \cdot Q[t-24] \cdot N8(t)+0,09 \cdot (Q[t-24])^2+0,11 \cdot N8(t)+0,02 \cdot (N8(t))^2$ $N8(t)=-195,67+0,21 \cdot \theta[t-24]+0,42 \cdot \theta[t-24] \cdot (Q[t-24])^{(1/3)}-0,03 \cdot (\theta[t-24])^2+$ $+328,8 \cdot (Q[t-24])^{(1/3)}$	0,0086

Отримані результати є основою коригування планових значень добової ВВ, типового профілю добового ГВВ та його параметрів, а отже й БРЕ.

У **п'ятому** розділі запропоновано процедуру контролю ефективності електроспоживання об'єктів водопостачання, яка базується на використанні інструментів статистичного контролю та передбачає спільний контроль електроспоживання, технологічних параметрів, показників енергоефективності, а також кліматичних чинників.

На основі аналізу завдань контролю енергоефективності обґрунтована доцільність застосування методів статистичного управління процесом, які спрямовані на постійне удосконалення СТС, тобто, узгоджені з ідеологією циклу Демінга. Як інструмент для контролю енергоефективності обрано контрольні карти (КК). На основі аналізу особливостей застосування КК обґрунтовано необхідність *одночасного* контролю електроспоживання, технологічних параметрів і питомого електроспоживання, та зазначено: для контролю ефективності електроспоживання доцільним є порівняння фактичного електроспоживання з БРЕ; для контролю визначальних змінних для виявлення причин недотримання БРЕ – карт Шухарта або Хотеллінга (їх вибір потребує оцінки кореляцій між параметрами); для контролю питомого електроспоживання для виявлення тенденцій до підвищення рівня енергоефективності СТС - карти Шухарта.

Для врахування фактичних умов роботи об'єкту контролю визначення нормативів здійснено на основі вибірок даних, сформованих з урахуванням результатів моніторингу циклічних змін водоподачі. Нормативами для визначальних змінних БРЕ, технологічних параметрів процесу водоподачі, показників ефективності режиму роботи об'єкту водопостачання є середнє значення контрольованого параметру, обчислене для типових умов роботи об'єкту, та межі його зміни, встановлені як довірчий інтервал для вибіркового математичного сподівання з довірчою імовірністю $p=0,997$. Нормативами питомого електроспоживання є межі зон енергоефективності, інтерпретація яких забезпечує оцінку рівня енергоефективності. Як норматив електроспоживання (БРЕ) застосовуються межі довірчих інтервалів, побудованих до прогнозних значень електроспоживання \hat{W} , обчислених на основі математичної моделі відповідного сезону та типу дня. Запропоновано два підходи до врахування значень визначальних змінних під час визначення БРЕ: 1) теоретично досяжний БРЕ, якщо враховуються планові значення визначальних змінних; 2) фактично досяжний БРЕ - враховуються фактичні значення ви-

значальних змінних. Процедура визначення фактичного БРЕ передбачає перевірку відповідності фактичного режиму роботи об'єкту запланованому.

Підтвердження факту відповідності фактичного режиму роботи об'єкту водопостачання запланованому з урахуванням заданого енергоменеджером кластеру є одним з етапів алгоритму контролю енергоефективності (рис. 13). Процедура такої перевірки визначається ієрархічним рівнем об'єкту контролю, періодом дискретизації контролю та збору даних і передбачає: для СКВ (рівень підприємства) та водозаборів - перевірка відповідності фактичних значень визначальних змінних запланованим межах їх зміни, обчислених з урахуванням меж зміни добових значень цих змінних для відповідного сезону та його тривалості впродовж контрольного місяця; для насосної станції II-го підйому - перевірка відповідності фактично спостереженого ГВВ запланованому з урахуванням сезону та типу дня. З цією метою застосовується процедура ідентифікації належності фактичного ГВВ до типових кластерів. Завершальним етапом процедури контролю є передача інформації в СЕМ для аналізу отриманих результатів, вироблення рекомендацій щодо підвищення енергоефективності. Аналіз результатів контролю визначальних змінних є основою прийняття рішення щодо необхідності побудови контрольних карт для інших технологічних параметрів і показників ефективності організації технологічного процесу. Додатковий аналіз таких карт сприятиме виявленню інших причин неефективного електроспоживання та шляхів підвищення рівня енергоефективності.

Отримані в розділі 4 результати вказують на необхідність врахування впливу на ВВ значення температури повітря протягом сезонів «Весна-літо-осінь» та «Літо». У випадку аномальних температур результати коригування планового значення добової ВВ та профіля її добового ГВВ можуть призвести до некоректних результатів контролю визначальних змінних та відповідності фактичного та запланованого режимів роботи об'єкту водопостачання, особливо, нижчих рівнів. Для попередження таких випадків передбачено коригування планових меж зміни визначальних змінних та урахування відкоригованих прогнозних значень добової ВВ та її характеристик під час визначення БРЕ. Вирішення такого завдання можливе двома способами. Перший – коригування меж зміни визначальних змінних та результатів перевірки відповідності фактичного та запланованого режиму роботи об'єкту водопостачання шляхом втручання енергомене-

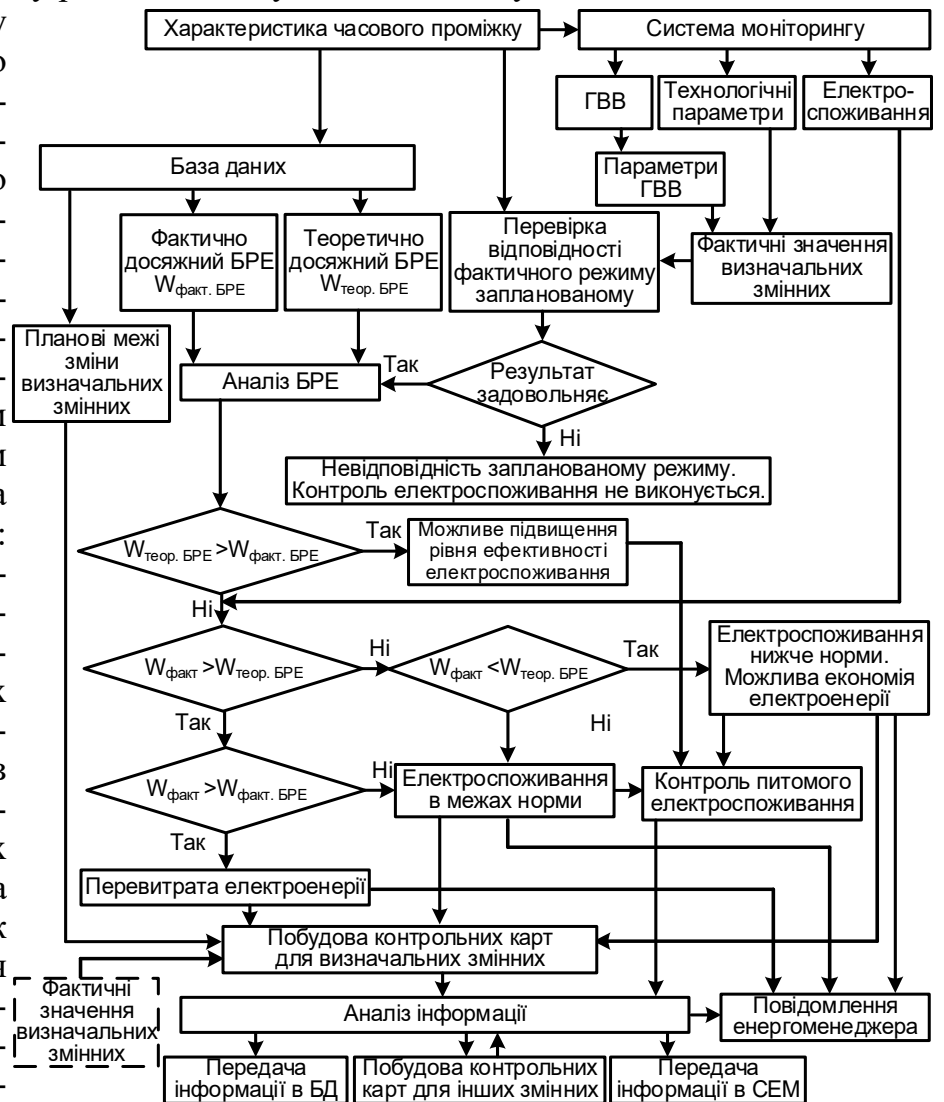


Рис. 13 – Алгоритм процедури комплексного контролю ефективності електроспоживання

джеря, спираючись на його досвід та інтуїцію. Другий - полягає у налаштуванні контролю кліматичних чинників (рис. 14), що передбачає побудову для них КК з урахуванням даних метеорологічних спостережень. Поява в розташуванні даних на КК невідповідних структур спеціального типу є сигналом до коригування процедури планування визначальних змінних та результатів перевірки відповідності фактичного та запланованого режимів роботи об'єкту водопостачання. Реалізація другого способу дозволяє усунути вплив суб'єктивної думки енергоменеджера щодо необхідності коригування процедури контролю.

Зміни енергоефективності повинні вимірюватися відносно БРЕ, зафіксованого у вихідному енергетичному профілі, і з урахуванням кращих зразків ефективного електроспоживання. При цьому слід зважати на практично можливе досягнення встановлених орієнтирів для підвищення рівня енергоефективності. Отже, необхідно враховувати фактичний стан об'єкту з точки зору енергоефективності під час вибору еталону для порівняння (рис. 15).

Для контролю питомого електроспоживання як еталонні нормативи питомого електроспоживання приймаються межі зон енергоефективності, визначені для обраного об'єкту наслідування, і них здійснюється порівняльний аналіз енергоефективності об'єкту контролю.

Для урахування відповідності БРЕ фактичним умовам роботи об'єкту водопостачання, які змінюються через вплив сезонних, погодних та соціальних чинників, а також в результаті удосконалення режиму роботи самого об'єкту процедура контролю ефективності електроспоживання доповнена процедурою контролю якості прогнозу шляхом застосування контрольного слідкуючого сигналу як індикатора розладнань контрольованих процесів. Застосування такого контролю безпосередньо до БРЕ є ускладненим через специфіку використання результатів порівняння фактичного та прогнозного значення електроспоживання. Тому, для виявлення моментів зміни математичної моделі електроспоживання відповідно до зміни умов роботи об'єкту водопостачання, зумовленого впливом сезонних чинників, слідкуючий сигнал запропоновано застосовувати до процесу прогнозування добової ВВ. Це дозволить виявити моменти невідповідності математичної моделі для заданого енергоменеджером типу типових умов роботи об'єкту та фактичних умов ВВ, що свідчатиме про необхідність зміни математичної моделі для прогнозування ВВ, а отже і визначення БРЕ. Постійне удосконалення ефективності процесу водоподачі відобразиться у зниженні фактичного електроспоживання об'єкту водопостачання. Отже, моментом розладнання процесу планування електроспоживання слід вважати момент, коли фактичне значення електроспоживання не пере-

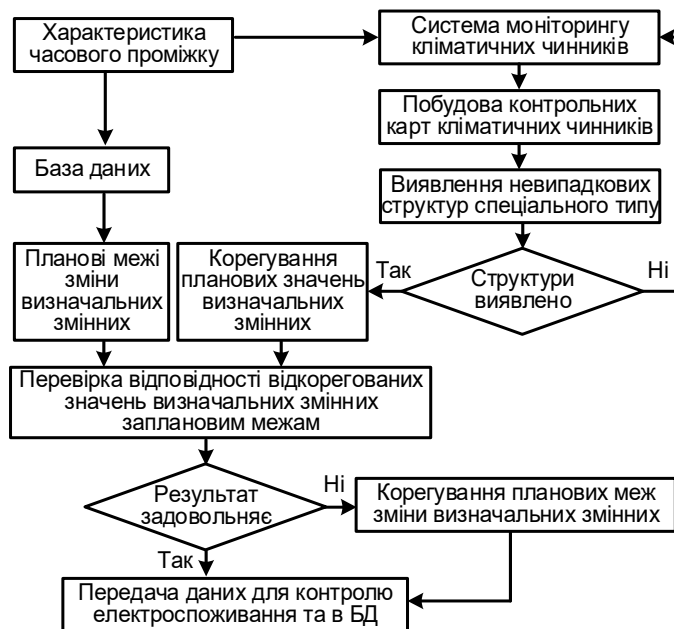


Рис. 14 - Алгоритм коригування планових значень визначальних змінних з урахуванням впливу кліматичних чинників

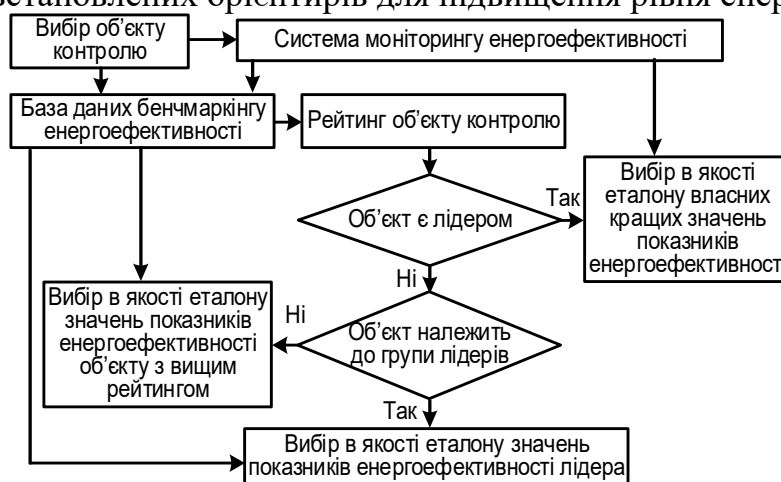


Рис. 15 – Алгоритм вибору кращої практики

вищуватиме БРЕ ($W_{\text{факт}} < W_{\text{факт.БРЕ}} < W_{\text{теорет.БРЕ}}$), а характеристики технологічного процесу будуть відповідати умові забезпечення ефективного режиму водоподачі. Це означитиме, що на об'єкті досягнутий новий рівень енергоефективності і математична модель електроспоживання повинна бути переглянута та відкоригована.

Для оцінки результатів контролю ефективності електроспоживання застосовано критерії оцінки статистичної керованості процесу і запропоновано інтерпретацію побудованих зон та підзон КК з урахуванням особливостей контролюваного параметру.

Інтерпретація карт Шухарта (табл. 11), побудованих для технологічних параметрів або показників ефективності режиму роботи, передбачає урахування характеру впливу параметра на ефективність електроспоживання (стимулятор/дестимулятор).

Таблиця 11 – Інтерпретація зон контрольних карт Шухарта залежно від характеру впливу показника на ефективність електроспоживання

Зона	Діапазон	Характеристика зони	
		Стимулятори	Дестимулятори
A ^в	$(\bar{x} + 2\sigma) \div (\bar{x} + 3\sigma)$	Досягнення ефективнішого, ніж запланований, режиму роботи	Можливе перевищення допустимої межі. Збільшення витрати електроенергії
B ^в	$(\bar{x} + 1\sigma) \div (\bar{x} + 2\sigma)$	Можливе досягнення ефективнішого режиму роботи	Можливе погіршення ефективності електроспоживання
C	$\bar{x} \pm 1\sigma$	Відхилення від планового значення	Відхилення від планового значення
B ^н	$(\bar{x} - 1\sigma) \div (\bar{x} - 2\sigma)$	Можливе погіршення ефективності електроспоживання	Можливе досягнення ефективнішого режиму роботи
A ^н	$(\bar{x} - 2\sigma) \div (\bar{x} - 3\sigma)$	Можливе перевищення допустимої межі. Збільшення витрати електроенергії	Досягнення ефективнішого, ніж запланований, режиму роботи

Контроль питомого електроспоживання здійснюється для виявлення тенденції його до покращення/погіршення рівня енергоефективності. Інтерпретація карт Шухарта передбачає якісну оцінку рівня ефективності електроспоживання. Виділено зелену

зону, розміщену під середньою лінією CL та червону зону, розміщену над CL.

Для контролю рівня ефективності електроспоживання введено якісну оцінку підзон A, B, C зон енергоефективності залежно від їх розміщення відносно CL (табл. 12). Належність спостереженого значення питомого електроспоживання до певної зони енергоефективності забезпечує якісну характеристику рівня ефективності електроспоживання.

Таблиця 12 – Інтерпретація зон карт Шухарта для питомого електроспоживання

Зона	Діапазон	Характеристика зони за рівнем енергоефективності
A ^в	$(\bar{w} + 2\sigma_w) \div (\bar{w} + 3\sigma_w)$	Низький рівень
B ^в	$(\bar{w} + \sigma_w) \div (\bar{w} + 2\sigma_w)$	Задовільний рівень
C ^в	$(\bar{w}) \div (\bar{w} + \sigma_w)$	Середній рівень
C ^н	$(\bar{w}) \div (\bar{w} - \sigma_w)$	Достатньо добрий рівень
B ^н	$(\bar{w} - \sigma_w) \div (\bar{w} - 2\sigma_w)$	Добрий рівень
A ^н	$(\bar{w} - 2\sigma_w) \div (\bar{w} - 3\sigma_w)$	Високий рівень

Для повідомлення енергоменеджера про результати контролю енергоефективності застосовано аналогові інструменти сигналізації (ІС), які базуються на аналізі виходу значень контролюваного параметру за визначені або задані енергоменеджером межі.

Налаштування ІС та організація повідомлення енергоменеджера про перевищення нормативу електроспоживання (табл. 13) враховує особливість побудови нормативу, встановленого як довірчий інтервал до очікуваного електроспоживання, межі якого є контрольними. Налаштування ІС та організація повідомлення

Таблиця 13 – Налаштування ІС та ідентифікації тривог

Тип ІС	Значення контрольної межі	Характер повідомлення	Тип сигналу
«Hi»	$\bar{W} + 2\sigma_W$	Перевитрата електроенергії	Сигналізація
«Lo»	$\bar{W} - 2\sigma_W$	Економія електроенергії	

енергоменеджера про перевищення нормативів технологічних параметрів або показників ефективності режиму роботи об'єкту водопостачання визначається властивостями

контрольованого параметру та характером його впливу на ефективність електроспоживання і повинне виконуватись індивідуально по кожному параметру.

Залежно від досягнутого рівня енергоефективності та завдань щодо його підвищення можуть налаштування ІС змінюватися. Для контролю відхилень питомого електроспоживання налаштування ІС здійснюється на основі меж побудованих зон енергоефективності. Запропоновано два способи налаштування ІС про негативні тенденції в динаміці питомого електроспоживання під час контролю (табл. 14). Другий спосіб менш жорсткий.

Таблиця 14 – Способи налаштування ІС для питомого електроспоживання

Спосіб	Тип ІС	Контрольна межа	Значення контрольної межі	Тип сигналу
I спосіб	«Hi»	Середня лінія	\bar{w}	Попередження
	«Hi-Hi»	Верхня межа зони С	$\bar{w} + \sigma_w$	Сигналізація
II спосіб	«Hi»	Верхня межа зони С	$\bar{w} + \sigma_w$	Попередження
	«Hi-Hi»	Верхня межа зони В	$\bar{w} + 2\sigma_w$	Сигналізація

Використання бенчмаркінгу дає можливість проаналізувати ефективність електроспоживання відносно кращого об'єкту. Як спосіб такого аналізу запропоновано використовувати як зразок зони енергоефективності кращого об'єкту та їх накладання на графік питомого електроспоживання контрольованого об'єкту. Результати і завдання щодо підвищення рівня енергоефективності вимагають відповідного налаштування ІС.

Якщо результати бенчмаркінгу засвідчують незадовільний рівень енергоефективності у порівнянні з еталоном, то на першому етапі забезпечення удосконалення стану об'єкту необхідним є фіксування моментів досягнення вищого рівня енергоефективності (табл. 15). Після появи стійкої тенденції підвищення рівня енергоефективності встановлюється нове завдання щодо підвищення рівня ефективності електроспоживання (перехід до наступного етапу налаштування ІС). Удосконалення ефективності електроспоживання об'єкту дозволяє встановлювати більш жорсткі налаштування.

Таблиця 15 - Налаштування ІС з урахуванням результатів бенчмаркінгу

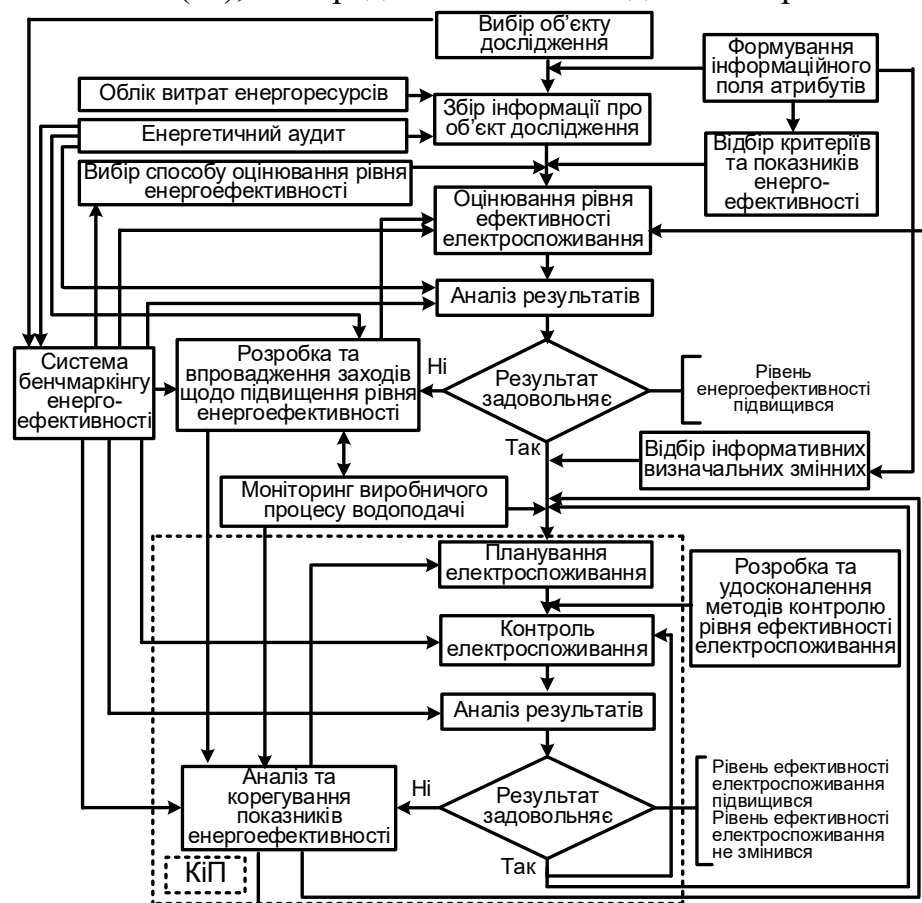
Етап	Тип ІС	Контрольна межа	Тип сигналу
I етап	«Lo»	Верхня межа зони А	Повідомлення про досягнення вищого рівня
II етап	«Lo»	Верхня межа зони В	Повідомлення про досягнення вищого рівня
	«Hi»	Верхня межа зони А	Сигналізація
III етап	«Lo»	Верхня межа зони С	Повідомлення про досягнення вищого рівня
	«Hi»	Верхня межа зони В	Попередження
	«Hi-Hi»	Верхня межа зони А	Сигналізація

У шостому розділі запропоновано методологічні основи інтегрування результатів бенчмаркінгу енергоефективності, планування і контролю електроспоживання об'єктів водопостачання в інформаційну систему ЕМ підприємства ВГ, організації інформаційного простору багаторівневого комплексного моніторингу енергоефективності ВГ, наведено практичні результати застосування процедур комплексного моніторингу.

Особливості (цілі, завдання, об'єкти) системи управління зумовлюють додаткові вимоги до способу виконання моніторингу, системи показників енергоефективності, які підлягають моніторингу, а також способу інтеграції результатів процедур моніторингу енергоефективності. З огляду на місце та роль порівняльного аналізу енергоефективності у вирішенні завдань моніторингу енергоефективності об'єктів ВГ, бенчмаркінг енергоефективності розглядається як його складова. Організація моніторингу енергоефективності потребує послідовного виконання певних дій (рис. 16), а основним принципом його функціонування є безперервність організації пооб'єктного контролю та урахування отриманої інформації для удосконалення виробничого процесу та планування режимів ефективного електроспоживання. Запропонована процедура організації моніторингу енергоефективності ВГ та призначення його складових стали основою застосовування поняття *комплексний моніторинг енергоефективності*.

Обґрунтовано необхідність застосування для вирішення задач комплексного бага-

торівневого моніторингу енергоефективності підходу, заснованого на інформаційній технології (ІТ), яка представляє собою здатний переналаштовуватись простір моделей



та інформаційних процесів, що дозволяє удосконалювати інформаційно - аналітичну систему (ІАС) та систему моніторингу; зазначено вимоги і завдання щодо реалізації такого підходу, організації інформаційного простору та інформаційного поля моніторингу, в тому числі, з позицій концепції пірамідального та стратифікованого підходів до проблеми енергоефективності ВГ.

Концепція пірамідального підходу до формування сукупності характеристик енергоефективності потребує врахування ієрархічної приналежності об'єкту, є основою структуризації набору його атрибутів-характеристик енергоефективності для забезпечення

Рис. 16 – Алгоритм інтеграції процедур бенчмаркінгу та моніторингу енергоефективності об'єктів ВГ

достатнього ступеня деталізації для вибраної постановки задачі моніторингу.

Для формування сукупності істотних атрибутів-характеристик енергоефективності запропоновано двоетапну процедуру. Перший етап базується на багатокритеріальній порядковій класифікації на основі сукупності критеріїв, які враховують істотність впливу характеристики енергоефективності на цільову змінну, ступінь вимірюваності та контрольованості, ступінь керованості та змінності. Відбіркові критерії агрегуються в складовий критерій. На основі градацій його оцінок виконується градація атрибутів-характеристик. Отримані групи атрибутів-характеристик є основою формування набору інформативних характеристик. Застосування такого підходу забезпечує подолання суб'єктивізму в процесі прийняття рішення щодо доцільності розгляду певного атрибуту-характеристики як імовірно інформативного. Другий етап передбачає застосування методу експертних оцінок для перевірки узгодженості оцінок експертів, значущості відмінності вибраних характеристик. Результатом процедури є формування наборів істотних атрибутів-характеристик енергоефективності для кожної задачі комплексного моніторингу енергоефективності з урахуванням ієрархічного рівня об'єкту.

Формалізацію ІТ комплексного моніторингу енергоефективності об'єктів водопостачання ВГ виконано з використанням об'єктно-орієнтованого підходу. Запропоновано архітектуру ІТ, що містить три категорії класів: 1) WEB-service - сукупність класів, об'єднаних процедурами отримання та зберігання необхідної інформації про об'єкт дослідження та його функціонування (про водоспоживання, кліматичні чинники, технічні та технологічні параметри, електроспоживання); 2) FORMS-class - сукупність класів (class Водоподача, class Показники енергоефективності, class БРЕ, class Бенчмаркінг енергоефективності), які об'єднані обчислювальними алгоритмами та моделями і забезпечують виконання низки розрахункових процедур відповідно до їх призначення

для забезпечення комплексного моніторингу; 3) CONTROL-class – сукупність класів (class Оперативний контроль, class Бенчмаркінг-контроль), які об'єднані процедурами виконання контролю енергоефективності. Опис властивостей та методів класів визначається типом об'єкту дослідження, стосовно якого виконується комплексний моніторинг енергоефективності, і конкретизацією постановки задачі дослідження. Реалізація кожного класу передбачає послідовність кількох розрахункових процедур. Результатом є інформація, яка збирається в БД та базі знань (рис. 17). Частина інформації є вихідною для наступних процедур. Інша частина використовується для прийняття рішення про енергоефективність режиму роботи об'єкту водопостачання.

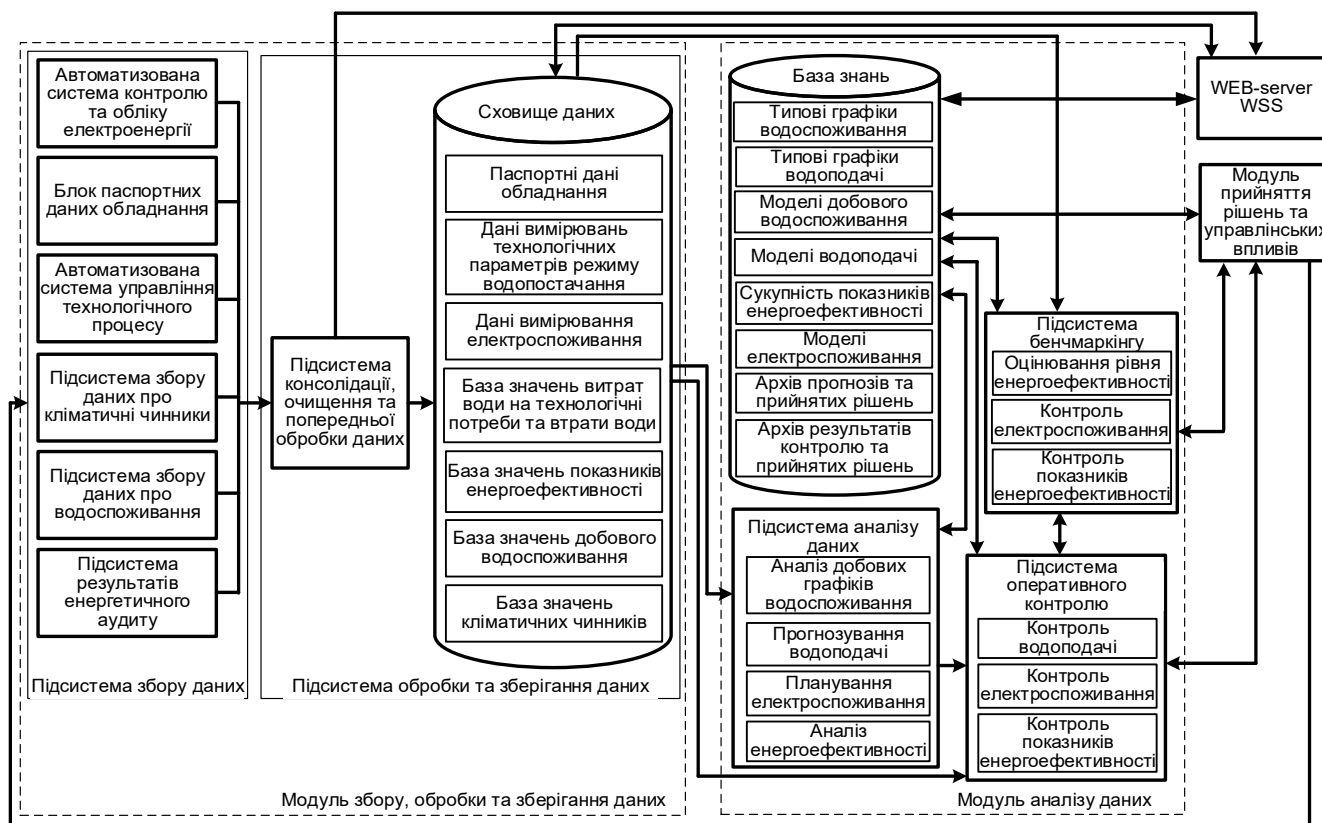


Рис. 17 - Архітектура інформаційного забезпечення процедур моніторингу енергоефективності об'єктів підприємства ВГ

Структура запропонованої ІАС моніторингу енергоефективності як складової загальної інформаційної системи ЕМ підприємства ВГ базується на принципі модульності, містить взаємодіючі між собою модулі та сукупність підсистем (рис. 24), завдання яких обумовлені ІТ. Інформаційне забезпечення процедур моніторингу енергоефективності базується на БД АСУ ТП об'єктів водопостачання, систем обліку електроенергії, доповнених технічними параметрами, кліматичними чинниками тощо.

Застосування web-орієнтованих засобів збору даних забезпечить збір та обробку інформації по кожному із об'єктів СКВ. Інформаційний обмін між об'єктами водопостачання підприємства ВГ дозволяє реалізувати принцип однократного введення, багатократного і багатоцільового використання інформації. Це дозволить здійснити консолідацію даних в єдиній інформаційній БД підприємства (рис. 18). Реалізація передачі інформаційних потоків між об'єктами водопостачання та

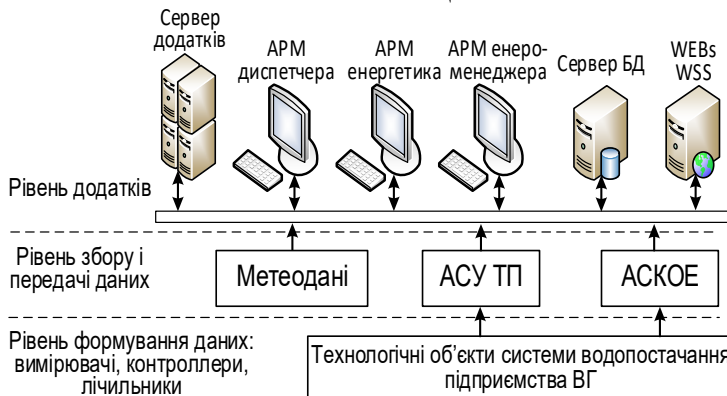


Рис. 18 – Структурна схема організації інформаційного простору моніторингу енергоефективності підприємства ВГ

центральним сервером підприємства на базі Web-орієнтованих систем дозволить створити єдиний інформаційний простір моніторингу енергоефективності підприємства ВГ та забезпечити можливість обробки інформації про параметри режимів і показники енергоефективності, формування звітів про результати контролю, видачі енергоменеджеру інформації, що сприятиме прийняттю дієвих управлінських рішень щодо підвищення рівня енергоефективності.

Запропоновані принципи організації комплексного моніторингу ефективності електроспоживання застосовано до об'єктів водопостачання різних ієрархічних рівнів (СКВ, водозаборів, НС II підйому) КП «Луцькводоканал». Результатом послідовного застосування процедур моніторингу є реалізація контролю ефективності електроспоживання об'єктів водопостачання. Шляхом порівняння фактичного електроспоживання СКВ з плановими виявлено моменти зниження ефективності електроспоживання. Для виявлення причин даної ситуації виконано процедуру контролю визначальних змінних. Результати кореляційного аналізу показали наявність кореляції між такими визначальними змінними БРЕ: $Q_{підн}$ - об'єм піднятої води; $Q_{под}$ - об'єм поданої в мережу води; $Q_{втр}$ - втрати води в мережі. Для контролю корельованих змінних побудовано КК Хотеллінга, для ВВ на технологічні потреби – КК Шухарта. Аналіз КК Шухарта показав, що ВВ на технологічні потреби не залежать від сезону і протягом контролюваного періоду знаходяться в допустимих межах. Невідповідність фактичних об'ємів піднятої та поданої води, її втрати в мережі їх запланованим значенням є ймовірною причиною недотримання БРЕ. Аналіз карт Хотеллінга вказав на факт впливу групи змінних на відхилення в електроспоживанні, але не показав характер відхилення в змінних від запланованих значень. Тому визначення часткових критеріїв та побудову карт Хотеллінга для кожної змінної визнано недоцільним і застосовано процедуру контролю визначальних змінних на основі КК Шухарта. За результатами контролю ефективності електроспоживання в СКВ (табл. 16) виявлено перевищення нормативу електроспоживання в червні, причиною якого є збільшення об'ємів піднятої та поданої в мережу води. Аналогічні результати контролю було отримано для водозаборів.

Таблиця 16 – Фрагмент результатів контролю ефективності електроспоживання в СКВ

Місяць	Відхилення $W_{факт}$ від нормативу, %	Вихід визначальних змінних за контрольні/попереджувальні межі				Причина	Повідомлення енергоменеджера
		$Q_{підн}$, м ³	$Q_{под}$, м ³	$Q_{втр}$, м ³	$Q_{техн.втр}$, м ³		
Січень	0	0/0	$\frac{0}{-292}$	0/0	0/0		Електроспоживання в межах норми
...
Червень	+1,2	$\frac{+941}{+11262}$	$\frac{+100}{+10852}$	$\frac{0}{+886}$	0/0	Зростання $Q_{підн}$ Зростання $Q_{под}$	Перевитрата електроенергії
...

Для дослідження тенденції щодо зміни рівня енергоефективності виконано контроль питомого електроспоживання (рис 19). Результати перевірки підпорядкування вибірки нормальному закону розподілу підтвердили можливість використання КК Шухарта. Контрольні межі встановлено на основі статистичного аналізу даних для питомого електроспоживання в СКВ за чотири роки. Характеристику ефективності електроспоживання виконано з урахуванням

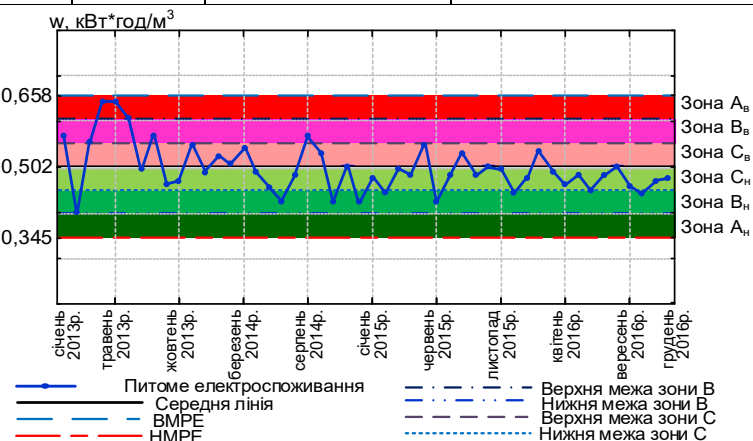


Рис. 19 - Графік питомого електроспоживання водозабору із зонами енергоефективності

запропонованої інтерпретації побудованих зон енергоефективності.

Для оцінки ефективності електроспоживання у порівнянні з кращим об'єктом застосовано підхід, згідно якого контрольні межі та зони енергоефективності об'єктів з вищим рейтингом приймаються як еталон ефективного електроспоживання, накладаються на графіки питомого електроспоживання інших об'єктів та виконується аналіз КК з урахуванням запропонованої інтерпретації. Його з урахуванням результатів внутрішнього бенчмаркінгу застосовано для порівняльної оцінки рівня енергоефективності водозаборів КП «Луцькводоканал» (рис. 20, 21).

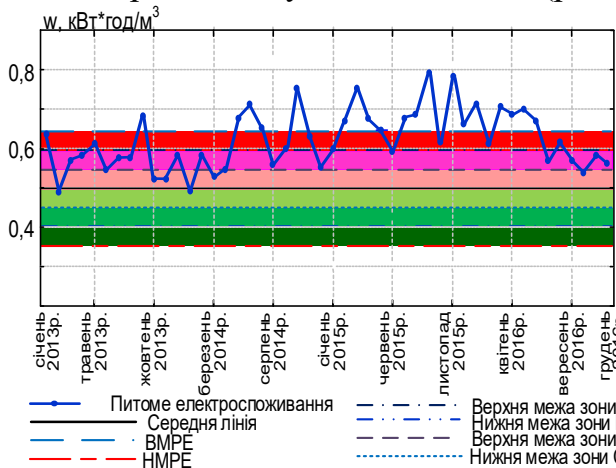


Рис. 20 - Графік питомого електроспоживання водозабору «Омеляниківський» з зонами енергоефективності водозабору «Дубнівський»

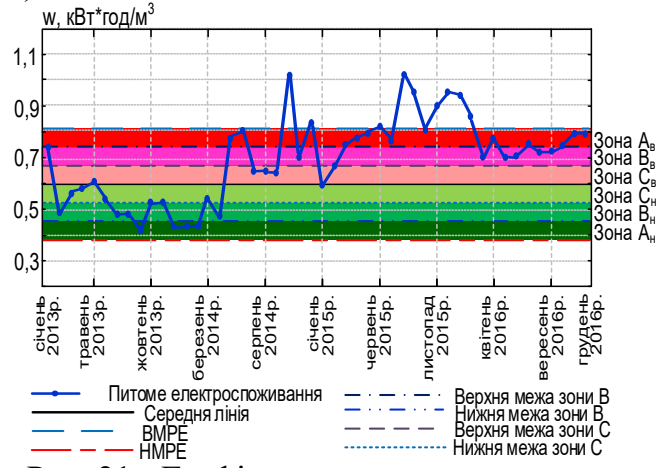


Рис. 21 - Графік питомого електроспоживання водозабору «Гнідава» з зонами енергоефективності водозабору «Омеляниківський»

Використання як еталонних зон енергоефективності об'єкту, що має вищий рейтинг, але не є абсолютним лідером, полегшує завдання щодо підвищення рівня енергоефективності об'єкту контролю. На основі аналізу результатів контролю встановлюються завдання щодо підвищення рівня енергоефективності для кожного об'єкту та виконується налаштування ІС (табл. 17). Наявність систематичних повідомлень про підвищення рівня енергоефективності впродовж визначеного енергоменеджером проміжку часу (напр., півроку) свідчатиме про появу стійкої тенденції підвищення рівня енергоефективності та можливість переходу до наступного етапу налаштування ІС (встановлення нового завдання). Відсутність повідомлень про підвищення (зниження) рівня ефективності електроспоживання свідчатиме про стабільний рівень енергоефективності об'єкту та відсутність тенденцій до його погіршення чи покращення.

Таблиця 17 - Налаштування ІС для контролю рівня енергоефективності

Водозабір	Етап	Тип ІС	Контрольна межа	Значення контрольної межі	Повідомлення енергоменеджера
«Дубнівський»	І етап	«Hi»	Середня лінія	$\bar{w}=0,502$	Зниження рівня енергоефективності
		«Lo»	Нижня межа зони С	$\bar{w} - \sigma_w = 0,452$	Підвищення рівня енергоефективності
	ІІ етап	«Hi»	Нижня межа зони С	$\bar{w} - \sigma_w = 0,452$	Зниження рівня енергоефективності
		«Lo»	Нижня межа зони В	$\bar{w} - 2\sigma_w = 0,401$	Підвищення рівня енергоефективності
«Омеляниківський»	І етап	«Hi»	Верхня межа зони В	$\bar{w} + 2\sigma_w = 0,606$	Зниження рівня енергоефективності
		«Lo»	Верхня межа зони С	$\bar{w} + \sigma_w = 0,552$	Підвищення рівня енергоефективності
	ІІ етап	«Hi»	Верхня межа зони С	$\bar{w} + \sigma_w = 0,552$	Зниження рівня енергоефективності
		«Lo»	Середня лінія	$\bar{w} = 0,502$	Підвищення рівня енергоефективності
«Гнідава»	І етап	«Hi»	Верхня межа зони А	$\bar{w} + 3\sigma_w = 0,811$	Зниження рівня енергоефективності
		«Lo»	Верхня межа зони В	$\bar{w} + 2\sigma_w = 0,739$	Підвищення рівня енергоефективності
	ІІ етап	«Hi»	Верхня межа зони В	$\bar{w} + 2\sigma_w = 0,739$	Зниження рівня енергоефективності
		«Lo»	Верхня межа зони С	$\bar{w} + \sigma_w = 0,667$	Підвищення рівня енергоефективності

Для аналізу причин перевищення БРЕ водозабору «Дубнівський» протягом червня

місяця наведено результати побового контролю ефективності електроспоживання НС ІІ підйому. Для підтвердження відповідності фактичного ГВВ заданому сезону і типу дня виконано процедуру ідентифікації його належності до відповідних кластерів за сезоном і типом дня. Виявлено: ГВВ для 09.06 не відповідав за характером водоподачі сезону «весна-літо-осінь»; ГВВ для 10.06 виявився нерегулярним за типом дня. Оцінка ефективності електроспоживання для цих днів не проводилась через неможливість коректного визначення БРЕ. Планові значення електроспоживання встановлено як довірчий інтервал до очікуваного електроспоживання, визначеного на основі математичної моделі електроспоживання для відповідного сезону і типу дня та значень визначальних змінних: теоретично досяжний БРЕ - з урахуванням усереднених характеристик визначальних змінних для відповідного сезону та типу дня; фактично досяжний БРЕ - з урахуванням фактичних значень визначальних змінних (за умови їх відповідності плановим межам зміни). В результаті порівняння фактичних та планових значень електроспоживання (рис. 22) виявлено моменти зниження/ підвищення ефективності електроспоживання. Процедура контролю технологічних параметрів процесу водопостачання призначена для виявлення причин такого стану. Інструментом контролю є карти Шухарта (рис. 23). Як контрольні межі прийнято довірчі інтервали до усереднених значень технологічних параметрів для робочих днів сезону «весна-літо-осінь». Результати контролю показали: 06.06 мало місце перевищення нормативу електроспоживання, причиною якого є збільшення об'єму ВВ та значення надлишкового тиску в диктуючих точках мережі (значення перевищують верхню попереджувальну межу). Отже, причиною перевитрати електроенергії є неефективний режим водоподачі. З 20.06 спостерігається стійке перевищення теоретично досяжного БРЕ на фоні виходу значень ВВ з мережі водопостачання та сумарного надлишкового тиску за верхню попереджувальну межу.

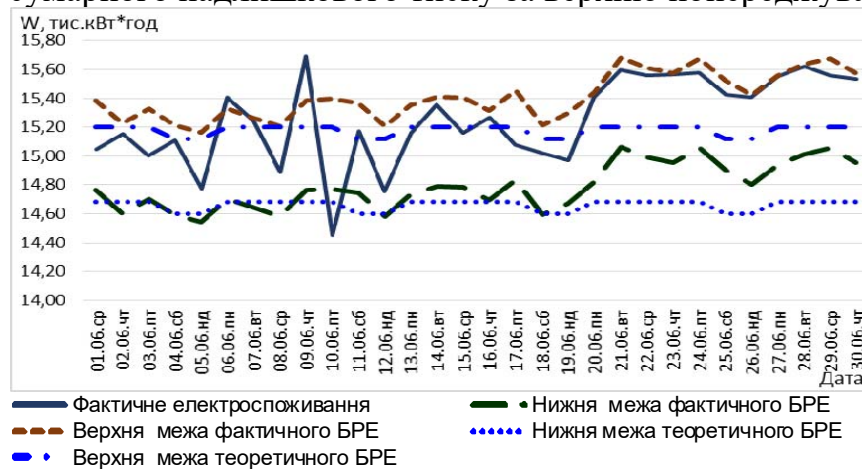


Рис. 22 – Контрольні карти для електроспоживання

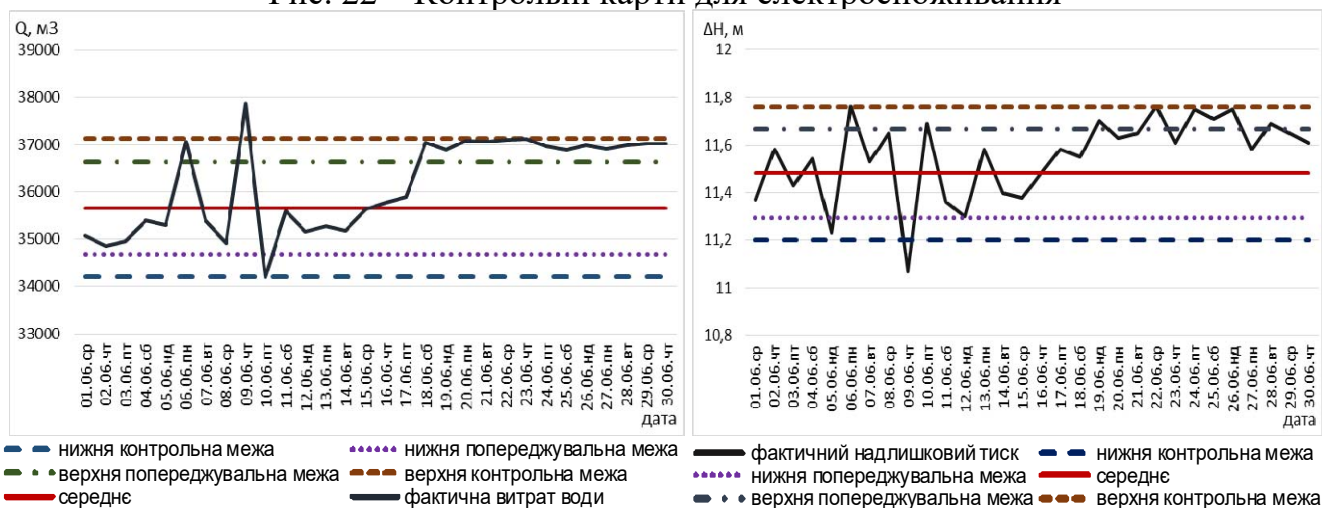


Рис. 23 - Контрольні X-карти індивідуальних значень технологічних параметрів процесу водопостачання

Таблиця 18 – Фрагмент результатів контролю ефективності електроспоживання НС

Дата	Відхилення $W_{\text{факт}}$ від нормативу, %		Вихід визначальних змінних за контрольні /попереджувальні межі		Причина	Повідомлення енергоменеджера
	Теоретичного БРЕ	Фактичного БРЕ	Q , м ³	ΔH , м		
01.06	0	0	0/0	0/0		Електроспоживання в межах норми
...
06.06	+1,36	+0,55	0/+423	0/+0,1	Зростання Q Зростання ΔH	Перевитрата електроенергії
07.06	+0,27	0	0/0	0/0		Електроспоживання в межах норми
08.06	0	0	0/0	0/0		Електроспоживання в межах норми
09.06	-	-	$\frac{+745}{+1232}$	$\frac{-0,13}{-0,22}$	Зростання Q	Невідповідність ГВВ режиму водоподачі
10.06	-	-	$\frac{-15}{-503}$	$\frac{0}{+0,02}$		Невідповідність ГВВ режиму водоподачі
...
19.06	0	0	0/+247	0/+0,03		Електроспоживання в межах норми
20.06	+1,36	0	0/+440	0/0		Електроспоживання в межах норми
...
30.06	+2,14	0	0/+376	0/0		Електроспоживання в межах норми

Примітка: знак «+» - вище контрольного значення; знак «-» - нижче контрольного значення.

Для отримання остаточного висновку щодо причин невідповідності фактичного та запланованого електроспоживання виконано процедуру контролю середньодобової температури на основі карт Шухарта (рис. 24). Контрольні межі визначено на основі статистичної обробки даних про температуру повітря у червні протягом трьох років.

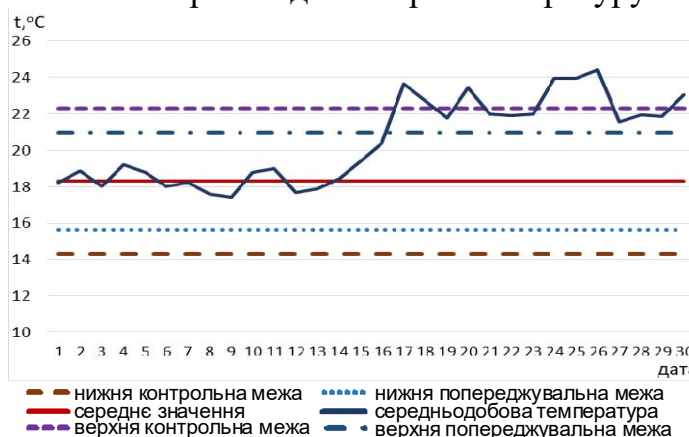


Рис. 24 - X-карти індивідуальних значень для середньодобової температури

Для перевірки ефективності такого коригування на основі математичних моделей, отриманих в розділі 4, визначено прогнозні значення добової ВВ і прогнозний профіль

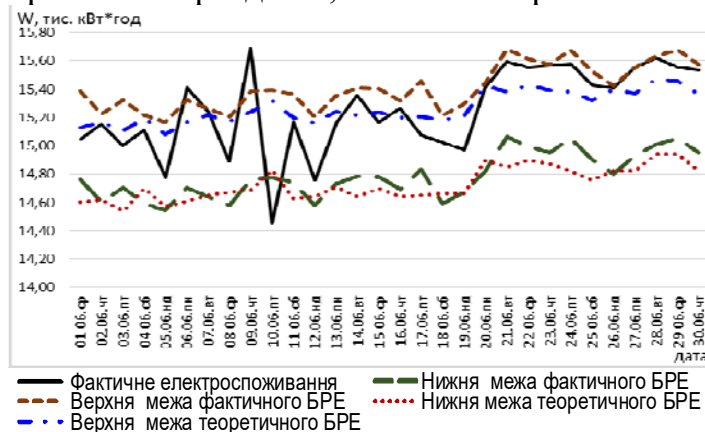


Рис. 25 – КК електроспоживання НС з урахуванням відкоригованого БРЕ

Аналіз КК виявив невідповідність середньодобових температур контрольним межам та стійку тенденцію до аномального підвищення температури в другій половині місяця, тобто необхідність коригування характеристик водоподачі. Спільний аналіз КК для середньодобової температури та технологічних параметрів свідчить, що в зв'язку з аномальним зростанням температури здійснено коригування режиму водоподачі, ознакою чого є вихід значень технологічних параметрів за верхню попереджувальну межу.

добового ГВВ з урахуванням кліматичних чинників. Ці результати використано для коригування планових добових значень визначальних змінних, з урахуванням яких виконано коригування БРЕ. Аналіз відкоригованих КК (рис. 25) підтверджує доцільність коригування режиму водоподачі з урахуванням впливу кліматичних чинників. Стійка тенденція перевищення відкоригованого значення теоретичного БРЕ вказує на неефективність коригування режиму водоподачі, що здійснювалось

без урахування прогнозних значень характеристик водоподачі.

Підвищення енергоефективності ВГ передбачає впровадження системи комплексного моніторингу енергоефективності на рівні підприємств, на регіональному рівні та рівні галузі. Потреба в автоматизації процесів управління енергоефективністю, значна кількість інформації, яку необхідно враховувати для забезпечення ефективного управління, потребує створення спеціалізованої ІАС комплексного моніторингу енергоефективності ВГ, яка повинна враховувати цілі моніторингу енергоефективності на мікро- та макрорівнях. Для ефективного вирішення задач моніторингу енергоефективності ВГ запропоновано забезпечити інтеграцію інформаційних ресурсів підприємств в єдиний багаторівневий інформаційний простір та створити на його основі ІАС регіонального та галузевого рівня. Зведена інформація повинна бути доступна фахівцям сфери комунального водопостачання шляхом організації спеціалізованої on-line платформи.

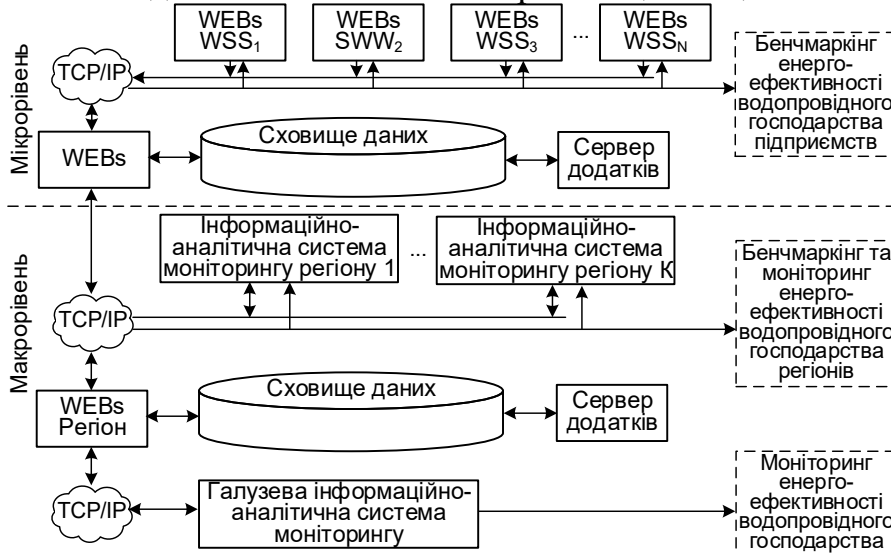


Рис. 26 – Структурна схема організації єдиного багаторівневого інформаційного простору моніторингу енергоефективності ВГ

Формування багаторівневого інформаційного простору передбачає горизонтальне і вертикальне інтегрування інформації (рис. 26). Горизонтальне інтегрування передбачає об'єднання інформації, отриманої від об'єктів одного рівня, кожен з яких має свою систему обробки та зберігання інформації, засоби її передачі тощо. Учасники горизонтальної взаємодії виступають як рівноправні партнери, а консолідація інформації в єдиному інформаційному просторі

забезпечує можливість порівняльного аналізу їх енергоефективності. Вертикальне інтегрування передбачає агрегування інформації, отриманої від об'єктів нижчих рівнів, та її консолідацію для обробки та аналізу на вищому рівні. Організація такої взаємодії сприятиме накопиченню інформації про об'єкти ВГ та розширенню можливостей порівняльного аналізу, як з точки зору охоплення об'єктів бенчмаркінгу, так і поля параметрів, зокрема, розширення набору вхідних параметрів енергоефективності у порівнянні із застосуванням інформації існуючої статистичної звітності. Аналітична підсистема забезпечує опрацювання даних, оцінювання рівня енергоефективності об'єкту дослідження. Об'єкти нижчого рівня є складовими компонентами об'єктів вищого рівня, що зумовлює однакові підходи до вирішення задач моніторингу на різних рівнях.

Реалізація запропонованої концепції побудови єдиного багаторівневого інформаційного простору комплексного моніторингу енергоефективності є основою підвищення оперативності інформаційного забезпечення управлінських рішень за рахунок своєчасності отримання даних щодо енергоефективності об'єктів ВГ різних ієрархічних рівнів; формування аналітичної БД показників енергоефективності для підвищення ефективності аналізу, виявлення потенціалу для енергозбереження; забезпечення моніторингу і аналізу досягнутих ефектів від впровадження заходів з енергозбереження.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі запропоновано нове вирішення актуальної науково-прикладної проблеми виявлення шляхів підвищення ефективності енергоспоживання ВГ як підсистеми кінцевого енергоспоживання України шляхом розвитку теорії моні-

торингу енергоефективності СЕТС та інтегрування його процедур і результатів їх застосування в СЕМ з урахуванням технологічних особливостей функціонування об'єктів водопостачання, що забезпечує виявлення тенденцій у енергоспоживанні, причин, що їх зумовили, завдань щодо підвищення рівня енергоефективності та можливих шляхів їх досягнення. Основні результати досліджень та рекомендації щодо їх використання можна узагальнити такими положеннями:

1. На основі аналізу сучасних вимог і тенденцій у сфері енергоефективності обґрунтовано доцільність розвитку теорії комплексного моніторингу енергоефективності як інструменту аналізу ефективності енергоспоживання СЕТС та виявлення шляхів його підвищення, реалізація якого дозволила забезпечити в комплексі спостереження, оцінювання, планування та контроль ефективності енергоспоживання об'єктів системи, в тому числі, з урахуванням кращих практик енергоефективності.

2. Запропонований підхід до бенчмаркінгу енергоефективності, який передбачає оцінювання рівня енергоефективності шляхом поєднання методів кількісного і якісного багатофакторного аналізу ефективності енергоспоживання, рекомендації щодо вибору яких сформовано з урахуванням ієрархічного рівня об'єкту дослідження, завдань і типу бенчмаркінгу та об'єкту наслідування, що дозволило на відміну від механізму, рекомендованого в європейському та національному стандартах з бенчмаркінгу, не лише виконати позиціонування об'єктів дослідження за рівнем енергоефективності, а й сформувати енергоефективні цілі та визначити можливі шляхи його підвищення.

3. Застосування запропонованого способу класифікації об'єктів за рівнем енергоефективності, який базується на побудові набору меж енергоефективності як розділяючих поверхонь між класами об'єктів, що забезпечило формування впорядкованих за рівнем енергоефективності груп об'єктів з урахуванням їх подібності в структурі вхідних/вихідних змінних, дозволило сформувати досяжні бенчмарки енергоефективності для об'єктів ВГ з урахуванням їх досягнутого рівня енергоефективності.

4. Розроблений підхід до ідентифікації циклічних змін водоподачі, зумовлених впливом сезонних і соціальних чинників, який базується на застосуванні теорії розпізнавання образів та побудові здатних до самоорганізації класифікаторів, що дало змогу ідентифікувати типові умови роботи об'єктів водопостачання, що дозволило відповідно до вимог стандартів серії ISO 50000 встановити типові періоди для визначення (спостереження) визначальних змінних і побудови БРЕ. Застосування побудованого двоетапного класифікатора дає змогу встановити належність добових ГВВ до одного з типових класів, що дозволяє виконати перевірку відповідності фактичного режиму водоподачі запланованому під час контролю ефективності електроспоживання об'єктів.

5. Запропонований спосіб формалізованого опису типових умов роботи об'єктів водопостачання, який базується на аналізі подібних добових ГВВ, забезпечив визначення усереднених значень характеристик водоподачі (значення добової ВВ, її складових), меж їх зміни, та побудову типових профілів добових ГВВ для типових днів кожного сезону та визначення їх параметрів, що дало змогу визначити планові значення визначальних змінних БРЕ з урахуванням впливу сезонних і соціальних чинників.

6. Запропонований підхід до виявлення впливу кліматичних чинників на ВВ з мережі водопостачання, який базується на розробленій процедурі прогнозування добової ВВ і профіля її добового ГВВ, що передбачає урахування тенденції зміни ВВ та кліматичних чинників, дає змогу виконати коригування планових значень характеристик добової ВВ, профіля її добового ГВВ і його параметрів, що дозволило врахувати вплив аномальних значень температури зовнішнього повітря під час визначення БРЕ об'єкту.

7. Застосування запропонованої методології моніторингу коливань процесу водоподачі, яка базується на ідентифікації її циклічних змін, зумовлених впливом сезонних та соціальних чинників, а також виявленні впливу аномальних кліматичних чинників на ВВ, забезпечило ідентифікацію та урахування фактичних умов роботи об'єкту водо-

постачання під час планування електроспоживання та контролю його ефективності.

8. Запропонований підхід до планування електроспоживання об'єктів водопостачання різних ієрархічних рівнів, який базується на використанні побудованих з урахуванням типових умов роботи об'єктів математичних моделей електроспоживання, автоматична структурно-параметрична ідентифікація яких базується на груповому урахуванні визначальних змінних БРЕ, сформованих з урахуванням істотності їх впливу на електроспоживання об'єкту, вимірюваності та можливості контролю, та урахуванні результатів формалізованого опису типових умов об'єкту, доповненого процедурою коригування планових значень визначальних змінних з урахуванням впливу кліматичних чинників, дає змогу адаптувати згідно вимог стандартів серії ISO 50000 визначення БРЕ до коливань процесу водоподачі, що забезпечило врахування фактичних умов роботи об'єкту водопостачання.

9. Запропонований механізм контролю ефективності електроспоживання, який заснований на спільному аналізі КК, побудованих для електроспоживання, технологічних параметрів процесу водоподачі і показників енергоефективності, та доповнений контролем кліматичних чинників для виявлення необхідності коригування планових та нормативних значень контрольованих параметрів, що в комплексі забезпечило виявлення моментів неефективного електроспоживання і причин, які його зумовили, а також дало змогу оцінити рівень ефективності електроспоживання об'єкту та виявити тенденції до його зміни, в тому числі, із урахуванням кращих зразків ефективного електроспоживання, вибраних зважаючи на фактичний стан енергоефективності об'єкту.

10. Застосування запропонованого підходу до виявлення моментів зміни умов роботи об'єкту водопостачання, зумовленого впливом сезонних чинників, що передбачає контроль розладнання процесу прогнозування добової ВВ, у поєднанні із процедурою виявлення розладнання процесу планування електроспоживання, зумовленого удосконаленням об'єкту водопостачання, дає змогу встановити необхідність зміни математичної моделі електроспоживання або ж її корегування, що дозволило забезпечити відповідність БРЕ фактичним умовам роботи об'єкту.

11. Урахування в процедурі контролю запропонованого способу індивідуального налаштування інструментів сигналізації для кожного контрольованого параметру дало змогу врахувати його властивості та характер впливу на ефективність електроспоживання, а також фактично досягнутий рівень енергоефективності об'єкту водопостачання та завдання щодо його підтримання чи підвищення, що забезпечило організацію інформативних повідомлень енергоменеджера про результати контролю.

12. Розроблена концепція комплексного моніторингу енергоефективності об'єктів ВГ, яка базується на інтегруванні процедур бенчмаркінгу енергоефективності, планування електроспоживання та контролю його ефективності як взаємопов'язаних складових СЕМ та сукупному аналізі їх результатів, що забезпечує виявлення прогресу щодо підвищення рівня енергоефективності та можливих шляхів удосконалення технологічного процесу об'єктів водопостачання згідно вимог стандартів серії ISO 50000.

13. Запропонована об'єктно-орієнтована формалізація інформаційної технології комплексного моніторингу енергоефективності об'єктів ВГ, розроблена архітектура якої має відкриту структуру, що дозволяє вносити нові процедури та алгоритми для удосконалення механізму моніторингу, передбачає налагодження процедур обміну даними на базі Web-орієнтованих технологій, що дає змогу створити єдиний інформаційний простір моніторингу енергоефективності об'єктів ВГ, що забезпечує формування порівняльної інформаційно-аналітичної бази даних та інформаційної бази знань для прийняття управлінських рішень для підвищення рівня енергоефективності.

14. Працездатність та ефективність запропонованих у роботі методів і моделей перевірена шляхом їх застосування на реальних об'єктах водопостачання. Практичну цінність одержаних результатів підтверджено застосуванням запропонованих підходів та

процедур під час організації систем контролю та планування електроспоживання об'єктів водопостачання як складових СЕМ підприємств ВКГ КП «Луцькводоканал» та КП «Тернопільводоканал». Очікуване зниження витрат електроенергії складає 3-5 % в місяць на окремих об'єктах водопостачання та 7-8% в цілому в СКВ.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ

1. Давиденко Л.В., Давиденко В.А., Розен В.П. Моніторинг ефективності енерговикористання в системах комунального водопостачання : монографія. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. 148 с.
2. Давиденко Л.В., Розен В.П., Давиденко Н.В. Формування енергоефективних режимів насосних станцій комунального водопостачання : монографія. Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2018. 104 с.
3. Давиденко Л.В., Розен В.П., Давиденко Н.В., Давиденко В.А. Планування та контроль електроспоживання в системах комунального водопостачання : монографія. Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2020. 160 с.
4. Давиденко Л.В. Задача багатокритерійного керування електроспоживанням систем водопостачання та водовідведення. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2009. *Технічні науки*. Вип. 86. "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 97-99.
5. Давиденко Л.В. Формалізація задачі багатокритерійного керування електроспоживанням систем водопостачання та водовідведення. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки*. 2010. Вип.101 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». С.19-21.
6. Давиденко Л.В. Формування вихідної сукупності показників рівня енергоефективності об'єктів системи теплопостачання. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки*. 2014. Вип.154 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С.5-7.
7. Давиденко Л.В. Використання методології бенчмаркінгу для визначення рівня ефективності енергоспоживання в комунальній теплоенергетиці. *Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2015. № 4. С. 15-20.
8. Давиденко Л.В. Принципи побудови інтегрованої системи моніторингу енергоефективності для підприємства водопровідно-каналізаційного господарства. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2015. № 3 (41). С.107-115.
9. Давиденко Л.В. Управлінська функція бенчмаркінгу енергоефективності та його роль в системі енергоменеджменту підприємства. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки*. 2015. Вип.165 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С.6-8.
10. Давиденко Л.В. Інтеграція бенчмаркінгу в систему енергоменеджменту підприємства. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки*. 2016. Вип.175 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С.23-25.
11. Давиденко Л.В. Бенчмаркінг енергоефективності водопровідних господарств: формування групи партнерів. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки*. 2018. Вип.196 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С.43-44.
12. Розен В.П., Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Комплексний підхід до задачі енергозбереження та оцінювання рівня енергоефективності водопостачального підприємства як складної системи. *Відновлювана енергетика*. 2010. №1(20). С. 65-70.
13. Розен В.П., Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Формування інформаційного поля для оцінювання рівня енергоефективності систем комунального водопостачання. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М. Остроградського*. 2010. Вип. 4/2010 (63), Ч.1. С. 50-53.
14. Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Оцінювання рівня енергоефективності об'єктів

складних енерготехнологічних систем як задача багатомірного порівняння. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки*. 2011. Вип.116 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С.76-78.

15. Розен В.П., Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Використання контрольних карт Шухарта для контролювання ефективності електроспоживання в системах комунального водопостачання. *Вісник КрНУ ім. М. Остроградського*. 2012. №1/2012(72), Ч.1. С.31-35.

16. Розен В.П., Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Інтерпретація контрольних карт Шухарта для визначення рівня ефективності електроспоживання на об'єктах водопостачання. *Вісник КрНУ ім. М. Остроградського*. 2012. № 4/2012(75). С.23-28.

17. Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Перевірка можливості використання контрольних карт Шухарта для контролювання рівня ефективності електроспоживання. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки*. 2012. Вип. 130 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С.30-32.

18. Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Виявлення прихованих взаємозв'язків у вихідній сукупності показників енергоефективності складних виробничих систем. *Вісник КрНУ ім. М. Остроградського*. 2013. № 3/2013(80). С.44-49.

19. Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Оцінювання рівня енергоефективності складних виробничих систем з позицій багатокритерійної класифікації. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки*. 2013. Вип.142 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С.6-8.

20. Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Моделювання електроспоживання у складних виробничих системах з урахуванням латентних взаємозв'язків у сукупності показників енергоефективності. *Вісник КрНУ ім. М. Остроградського*. 2014. № 2(85). С.40-46.

21. Давиденко Л.В., Давиденко В.А., Коменда Н.В., Ярмольська Н.В. Функції енергетичного моніторингу складних виробничих систем та їх завдання для підвищення рівня енергоефективності. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки*. 2014. Вип. 153 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С.125-127.

22. Давиденко Л.В. Давиденко В.А., Коменда Н.В. Використання процедур статистичного контролю якості для аналізу ефективності електроспоживання в складних виробничих системах. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки*. 2015. Вип.164 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С.104-106.

23. Коменда Т.І., Коменда Н.В., Давиденко Л.В. Округлість, компактність та видоуження графіків електричного навантаження. *Вісник ВПІ*. 2016. № 2. С. 98-105.

24. Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Побудова інформаційного простору моніторингу ефективності енергоспоживання в системах комунального водопостачання. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/*. 2016. Вип. 29. С. 178-185.

25. Давиденко Л. В., Давиденко В.А., Коменда Н.В. Багатофакторне моделювання електроспоживання в складних виробничих системах з використанням апарату нейронних мереж. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки*. 2016. Вип.175 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С.143-145.

26. Давиденко Л.В., Розен В.П., Давиденко Н.В. Структура системи комплексного контролю ефективності енергоспоживання об'єктів комунального водопостачання. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2016. № 4 (46). С. 81-88.

27. Розен В.П., Давиденко Л.В., Давиденко Н.В. Процедура побудови базового рівня електроспоживання об'єктів водопостачання з урахуванням впливу зовнішніх чинників. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2017. № 3 (49). С.31-37.

28. Давиденко Л.В., Давиденко В.А., Коменда Н.В. Принципи налаштування інструментів сигналізації в системі контролю енергоефективності виробничих об'єктів.

Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. 2017. Вип.187 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С.18-20.

29. Давиденко Л.В., Давиденко Н.В. Процедура планування електроспоживання об'єктів водопостачання. *Вісник ВПІ.* 2017. №6. С.49-54.

30. Розен В.П., Давиденко Л.В., Давиденко Н.В. Урахування циклічних змін процесу водоподачі під час контролю ефективності електроспоживання насосних станцій. *Енергетика: економіка, технології, екологія.* 2018. №2. С. 68-74.

31. Давиденко Л.В., Давиденко Н.В. Побудова правил дискримінації добових графіків витрати води з мережі водопостачання з урахуванням сезонних та соціальних чинників. *Вісник КрНУ ім. М. Остроградського.* 2018. №3/2018(110). С. 20-25.

32. Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Нейромережеве моделювання електроспоживання в системі комунального водопостачання з урахуванням сезонних змін водоподачі. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки.* 2018. Вип.195 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С.78-79.

33. Давиденко Л.В., Давиденко Н.В. Моделювання електроспоживання насосної станції водоподачі. *Вісник КрНУ ім. М. Остроградського.* 2019. №1/2019(114). С.20-26.

34. Розен В.П., Давиденко Л.В., Волинець В.І., Давиденко В.А., Давиденко Н.В. Бенчмаркінг енергоефективності електротехнічних комплексів вугільних шахт. *Вісник КрНУ ім. М. Остроградського.* 2019. № 4/2019(117). С. 134-140.

35. Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Моделювання електроспоживання в системі комунального водопостачання методом групового урахування аргументів *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки.* 2019. Вип.203 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С.80-81.

36. Давиденко Л.В., Давиденко Н.В. Принципи інформаційного забезпечення комплексного моніторингу енергоефективності об'єктів водопостачання. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки.* 2019. Вип.204 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С.8-10.

37. Davydenko L. Indicators System Creation For The Energy Efficiency Benchmarking Of Municipal Power System Facilities. *Problemele energeticii regionale.* 2015. 1 (27). pp. 58-70. (Web Of Science)

38. Davydenko L., Rozen V., Davydenko V., Davydenko N. Formalization of Energy Efficiency Control Procedures of Public Water-Supply Facilities. *Advances in Intelligent Systems and Computing.* 2017. Vol. 543. pp. 196-202. (Scopus, Web Of Science)

39. Korobiichuk I., Davydenko L., Davydenko V., Davydenko N. Information support the operative control procedures of energy efficiency of operation modes of municipal water supply system facilities. *Advances in Intelligent Systems and Computing.* 2020. vol. 920. pp. 571-582. (Scopus).

40. Davydenko N., Korobiichuk I., Davydenko L., Nowicki M., Davydenko V. Identification of cyclic changes in the operation mode of the production facility based on the monitoring data. *Advances in Intelligent Systems and Computing.* 2020. Vol. 1044. pp. 189-197. (Scopus).

41. Korobiichuk I., Davydenko L., Davydenko N., Davydenko V. Control of the Operation Mode of the Production Facility Based on the Relevant Characteristics of the Technological Process. *Advances in Intelligent Systems and Computing,* 2020. Vol. 1140. pp 57-66. (Scopus).

42. Davydenko L., Rozen V., Davydenko V., Davydenko N. Control of Operation Modes Efficiency of Complex Technological Facilities Based on the Energy Efficiency Monitoring. *Lecture Notes in Mechanical Engineering.* 2020. Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. Proceedings. pp. 531-540. (Scopus, Web Of Science).

43. Davydenko L., Rozen V., Davydenko V. and Davydenko N. Construction of the Energy Baseline of the Pumping Station of Water Supply Taking into Consideration Cyclic

Changes in Water Consumption. 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems, 2019. Proceedings. IEEE Catalog Number: CFP19U02-USB. pp. 250-262. (Scopus, Web Of Science).

44. Davydenko L., Davydenko N. Integration of procedures of benchmarking and energy efficiency control in energy management system of municipal water supply enterprise. *Energetica Moldovei-2016: Aspecte regionale de dezvoltare : Rapoarte*. Chişinău: S. n., 2016. Ed. 3. pp.123-131.

45. Розен В.П., Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Комплексне оцінювання рівня енергоефективності водогосподарств як складних виробничих систем. *Промислова електроенергетика та електротехніка*. 2010. №.6. С 20-24.

46. Давиденко Л.В. Завдання та основні етапи системи бенчмаркінгу енергоефективності об'єктів складних виробничих систем. *Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. 2015. №10. С. 15-20.

47. Давиденко Л.В. Механізм бенчмаркінгу енергоефективності об'єктів складних виробничих систем та принципи його реалізації. *Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. 2015. №11. С. 11-18.

48. Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Призначення процедур комплексного контролю рівня ефективності енергоспоживання об'єктів водопостачання в системі енергоменеджменту водопостачального підприємства. *Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ*. 2016. С. 73-79.

49. Davydenko N., Davydenko V., Davydenko L. Information support for the procedure of power consumption planning in the municipal water supply system. *Modeling, Control and Information Technologies*. 2019. No. 3. pp. 29-32.

50. Давиденко Л.В. Бенчмаркінг енергоефективності об'єктів складних виробничих систем: основні складові та принципи їх реалізації. в кн.: Економічна безпека територіально-виробничих комплексів: енергетика, екологія, інформаційні технології : монографія / Коцко Т.А., Чеховська М.М., Лісовські О.Л. [та ін.]; за ред. Лук'яненка С.О., Караєвої Н.В. Київ : «МП Леся», 2015. С. 115-119.

51. Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Визначення ефективності енерговикористання у виробничих системах за допомогою енергетичного моніторингу. *Підвищення ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах*. Матеріали III міжнар. наук.-техн. конф. (14-16.06.2012). Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2012. – С. 16-18.

52. Давиденко Л.В., Негодюк Р.В. Рейтингування об'єктів складної виробничої системи як засіб визначення їх рівня енергоефективності. *Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах*. Матеріали IV міжнар. наук.-техн. конф. (27-29.06.2014). Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2014. С. 79-80.

53. Давиденко Л.В. Принципи побудови інтегрованої системи моніторингу енергоефективності для підприємства водопровідно-каналізаційного господарства. *Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS'15*. 36. тез доповідей II міжнар. наук.-техн. та навч.-метод. конф. (19-21.05.2015). Київ: НТУУ «КПІ», 2015. С. 39-43.

54. Коменда Т.І., Коменда Н.В., Давиденко Л.В. Компактність графіків електричного навантаження. *Оптимальне керування електроустановками. ОКЕУ-2015*. 36. тез доповідей III міжнар. наук.-практ. конф. (14-15.10.2015). Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 31.

55. Давиденко Л.В. Призначення та завдання моніторингу ефективності енергоспоживання в складних виробничих системах. *Моніторинг енерго- та ресурсовикористання в складних виробничих системах*. Матеріали доповідей I всеукр. наук. семінару (29 квітня 2015 р.). Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. С. 34-37.

56. Давиденко Л.В. Використання методології бенчмаркінгу для оцінювання рівня ефективності енерговикористання. *Проблеми і перспективи енергозбереження в комунальному господарстві та на промислових підприємствах*. Матеріали доповідей V все-

укр. наук. семінару (15.05.2015). Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. С. 56-58.

57. Давиденко Л.В., Давиденко Н.В. Завдання та принципи організації комплексного контролю ефективності енерговикористання в системах комунального водопостачання. *Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика*. Збірник наукових праць XVII міжнар. наук.-техн. конф. (17-19.05.2016). Кременчук: КрНУ, 2016. Вип. 1/2016 (4). С. 201-203.

58. Розен В.П., Давиденко Л.В., Давиденко Н.В. Система комплексного контролю енергоефективності режимів роботи об'єктів комунального водопостачання. *Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку*. Збірник наукових праць III міжнар. наук.-техн. та навч.-метод. конф. (30.05-01.06.2016). Київ, НТУУ «КПІ», 2016. С. 94-95

59. Давиденко Л.В. Інтегрована системи моніторингу енергоефективності об'єктів водопостачання. *Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах*. Матеріали V міжнар. наук.-техн. конф. (26-28.05.2016). Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2016. С. 55-56.

60. Давиденко Л.В., Розен В.П., Давиденко Н.В. Принципи побудови базового рівня електроспоживання об'єктів водопостачання з урахуванням впливу зовнішніх чинників. *Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку*. Збірник наукових праць IV міжнар. наук.-техн. та навч.-метод. конф. (25-27.04.2017). Київ, НТУУ «КПІ», 2017. С. 112-113.

61. Давиденко Л.В., Давиденко Н.В. Monitoring and Targeting Systems об'єктів водопостачання: процедура планування ефективного електроспоживання. *Оптимальне керування електроустановками – ОКЕУ'2017*. Тези IV міжнар. наук.-техн. конф. (11-13.10.2017). Вінниця: ВНТУ, 2017. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/okeu/okeu/> (дата звернення: 11.12.2019).

62. Давиденко Л.В. Аспекти комплексного контролю енергоефективності режимів роботи об'єктів комунального водопостачання. *Проблеми і перспективи енергозбереження в комунальних господарствах та на промислових підприємствах*. Матеріали доповідей VI всеукр. наук. семінару (01.06.2017). Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2017. С.33-36.

63. Розен В.П., Давиденко Л.В., Давиденко Н.В. Виявлення та урахування циклічних змін водоподачі під час контролю ефективності електроспоживання насосних станцій. *Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку*. зб. наук. праць V міжнар. наук.-техн. та навч.-метод. конф. (17-19.04.2018). Київ: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2018. С.101-102.

64. Давиденко Л.В. Принципи застосування концепції бенчмаркінгу для аналізу енергоефективності виробничих об'єктів. *Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах*. Матеріали VII міжнар. наук.-техн. конф. (20-23.06.2018). Луцьк : ІВВ Луцького НТУ, 2018. С. 61-64.

65. Давиденко Л.В., Давиденко В.А., Давиденко Н.В. Побудова моделі електроспоживання насосної станції водопостачання з урахуванням циклічних змін водоспоживання. *Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій*. Матеріали IV міжнар. наук.-техн. конф. (20-21.06.2019). Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2019. С. 7-9.

66. Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Призначення бенчмаркінгу в системі контролю енергоефективності виробничих об'єктів. *Проблеми і перспективи енергозбереження в комунальному господарстві та на промислових підприємствах*. Матеріали доповідей VII всеукр. наук. семінару (21-22.06.2019). Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2019. С. 34-37.

67. Свідectvo про авторське права на технічний твір № 37831. Методика оцінювання рівня ефективності енерговикористання на об'єктах підприємства комунального водопостачання та водовідведення / Розен В.П., Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Заявка № 37897 від 09.02.2011. Зареєстр. 08.04.2011.

68. Свідоцтво про авторське право на науковий твір № 83989. Процедура формалізації циклічних змін водоподачі насосних станцій комунального водопостачання / Розен В.П., Давиденко Л.В., Давиденко Н.В. Заявка № 85055 від 06.11.2018. Зареєстр. 26.12.2018. Опубл. 25.01.2019. Бюл. № 51. С.851.

69. Свідоцтво про авторське право на науковий твір № 85617. Процедура побудови базового рівня електроспоживання насосної станції водопостачання / Розен В.П., Давиденко Л.В., Давиденко Н.В. Заявка № 85617 від 31.01.2019. Зареєстр. 11.02.2019. Опубл. 26.04.2019. Бюл. № 52. С.644

70. Свідоцтво про авторське право на науковий твір №88363. Методика контролю ефективності електроспоживання насосної станції водопостачання з урахуванням впливу сезонних та соціальних чинників / Розен В.П., Давиденко Л.В., Давиденко Н.В. Заявка № 89934 від 16.04.2019. Зареєстр. 08.05.2019. Опубл. 26.07.2019. Бюл. № 53. С.433.

АНОТАЦІЯ

Давиденко Л.В. Наукові основи комплексного моніторингу енергоефективності об'єктів водопровідного господарства. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.01 – «Енергетичні системи та комплекси». – Луцький національний технічний університет, Луцьк, 2020. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2020.

Запропоновано процедуру комплексного оцінювання рівня енергоефективності об'єктів ВГ як підсистеми кінцевого енергоспоживання України, яка базується на концепції бенчмаркінгу та передбачає визначення кількісної та якісної оцінки рівня енергоефективності об'єктів з урахуванням їх ієрархічного рівня, типу і мети бенчмаркінгу, а також класифікацію об'єктів, що дозволяє оцінити рівень енергоефективності об'єкту, врахувати умови його функціонування, забезпечує формування завдань та виявлення шляхів підвищення рівня енергоефективності.

Розроблено процедуру планування електроспоживання об'єктів ВГ різних ієрархічних рівнів, яка базується на побудові структурованої багатофакторної моделі електроспоживання та відповідно до вимог стандартів серії ISO 50000 є адаптованою до циклічних змін процесу водоподачі, що забезпечує визначення БРЕ об'єкту водопостачання для типових умов роботи.

Удосконалено процедуру моніторингу циклічних змін процесу водоподачі, зумовлених впливом сезонних і соціальних чинників, та запропоновано підхід до ідентифікації та формалізованого опису типових умов роботи об'єктів водопостачання.

Запропоновано процедуру контролю ефективності електроспоживання об'єктів ВГ, яка базується на використанні інструментів статистичного контролю та передбачає контроль електроспоживання, технологічних параметрів водоподачі, показників енергоефективності та кліматичних чинників.

Запропоновано методологічні основи інформаційно-аналітичного забезпечення комплексного багаторівневого моніторингу енергоефективності ВГ, організації інформаційного простору комплексного моніторингу енергоефективності об'єктів водопостачання підприємства водопровідно-каналізаційного господарства та єдиного багаторівневого інформаційного простору моніторингу енергоефективності ВГ.

Ключові слова: об'єкт водопостачання, енергоефективність, оцінювання рівня енергоефективності, бенчмаркінг енергоефективності, партнери бенчмаркінгу, моніторинг енергоефективності, планування електроспоживання, базовий рівень електроспоживання, циклічні зміни процесу водоподачі, добовий графік витрати води, метод групового урахування аргументів, контроль ефективності електроспоживання, контрольні карти.

АННОТАЦИЯ

Давыденко Л.В. Научные основы комплексного мониторинга энергоэффективности объектов водопроводного хозяйства. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.01 - «Энергетические системы и комплексы». – Луцкий национальный технический университет, Луцк, 2020. Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, 2020.

Предложена процедура комплексной оценки уровня энергоэффективности объектов водопроводного хозяйства как подсистемы конечного энергопотребления, основанная на концепции бенчмаркинга и предусматривающая количественную и качественную оценку уровня энергоэффективности объектов с учетом их иерархического уровня, типа, цели бенчмаркинга, а также классификацию объектов, что позволяет оценить уровень энергоэффективности объекта с учетом условий его функционирования, сформировать задачи и выявить возможные пути повышения уровня энергоэффективности, в том числе с учетом лучших практик эффективного электропотребления.

Разработана процедура планирования электропотребления объектов водопроводного хозяйства различных иерархических уровней, основанная на построении с помощью алгоритма МГУАНМ структурированной многофакторной модели электропотребления и в соответствии с требованиями стандартов серии ISO 50000 адаптированная к циклическим изменениям процесса технологического процесса путем учета результатов формализованного описания водоподачи для типичных условий работы для определения плановых значений определяющих переменных базового уровня электропотребления, что обеспечивает определение базового уровня электропотребления с учетом условий работы объекта.

Усовершенствована процедура мониторинга циклических изменений процесса водоподачи, обусловленных влиянием сезонных и социальных факторов, и предложен подход к идентификации и формализованному описанию типичных условий работы объектов водоснабжения.

Предложена процедура контроля эффективности электропотребления объектов водоснабжения, основанная на использовании инструментов статистического контроля и предусматривающая контроль электропотребления, технологических параметров водоподачи, показателей энергоэффективности, а также климатических факторов, что позволяет установить момент несоответствия электропотребления запланированному, причины этого несоответствия, тенденции к повышению/снижению уровня энергоэффективности, а также необходимость корректирования плановых значений технологических параметров водоподачи и базового уровня электропотребления.

Предложены методологические основы информационно-аналитического обеспечения комплексного многоуровневого мониторинга энергоэффективности водопроводного хозяйства, организации информационного пространства комплексного мониторинга энергоэффективности объектов водоснабжения предприятия водопроводно-канализационного хозяйства и единого многоуровневого информационного пространства мониторинга энергоэффективности водопроводного хозяйства.

Ключевые слова: объект водоснабжения, энергоэффективность, оценки уровня энергоэффективности, бенчмаркинг энергоэффективности, партнеры бенчмаркинга, мониторинг энергоэффективности, планирование электропотребления, базовый уровень электропотребления, циклические изменения процесса водоподачи, суточный график расхода воды, метод группового учета аргументов, контроль эффективности электропотребления, контрольные карты.

ABSTRACT

Davydenko L.V. The scientific bases of complex monitoring of the energy efficiency of facilities of water supply enterprise. – On the rights of manuscript

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.14.01 – energy systems and complexes. – Lutsk National Technical University, Lutsk, 2020. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2018. 2020.

The thesis is devoted to solving the actual problem of energy performance improvement of the facilities of the municipal water supply enterprise through the development of ways and methods for identifying hidden reserves of improving the production system and the process of power consumption, taking into consideration best practices and evaluation of achieved results, as well as to developing and improving of monitoring of power consumption efficiency as a component of the energy management system (EnMS) of enterprise of water supply and sewerage enterprise and industry.

The mechanism of energy efficiency benchmarking as a component of the enterprise EnMS was developed. The complex procedure of analysis the energy efficiency of WSE, which provides both quantitative and qualitative evaluation of the energy performance of its facilities, taking into consideration their hierarchical level, type and purpose of benchmarking. The method of classification of facilities by energy performance was proposed, which is based on the using of efficiency limits as dividing surfaces. This allows forming achievable benchmarks for non-energy efficient facilities, and defining tasks for improving energy efficient facilities. The results of the higher-level facilities classification are the basis for reasonable forming of benchmarking partners group of the lower-level facilities taking into consideration selected imitation facility.

The procedure for planning the power consumption of water supply facilities of different hierarchical levels was elaborated, which is based on the construction of a structured multifactor model of power consumption and, according to the requirements of the ISO 50000 standards series, is adapted to the cyclical changes in the conditions of the production process of water supply. In order to solve the task of power consumption modeling, the issue of formation of sets and a database of relevant variables of the energy baseline (EnB) with taking into consideration the hierarchical level of water supply facilities was previously considered, and the procedure of selection of informative variables was proposed.

The issues of monitoring cyclical changes in the water supply process caused by seasonal and social factors were considered, and the approach for identifying and formalize description of typical operation conditions of water supply facilities was proposed. The procedure of distinguishing similarities of daily WSCs from the water supply network, which involves the consistent application of cluster and discriminant analysis methods and construction of a classifier of WCCs that is capable of self-organization, is the basis of the approach of identifying of typical operation conditions of water supply facilities. In order to take into consideration the anomalous influence of climatic factors, the method of adjusting the characteristics of daily water supply from the water supply network by forecasting the daily water supply and profile of its daily WSC was proposed.

The procedure of control of power consumption efficiency of water supply facilities was proposed, which is based on the use of the statistical control tool and provides the control of power consumption, technological parameters and energy efficiency indicators. It allows identifying the moments of non-accidental change in the efficiency level of power consumption, the reasons for these changes, the presence/absence of tendencies to improve the energy performance, as well as qualitatively characterizing efficiency of the power consumption mode based on the interpretation of control charts and application of the constructed ranges of energy efficiency, including with taking in consideration the results of better facilities in terms of energy efficiency.

The methodological bases for the organization of complex and multi-level monitoring of

energy efficiency of WSE was proposed, which include the integration of benchmarking and monitoring procedures, construction of information space and information field, structuring of attributes-characteristics of energy efficiency of water supply facilities with taking into consideration pyramidal and stratified approaches. The object-oriented formalization of information technology of complex energy efficiency monitoring was proposed. The architecture of information support, organization of information space of complex monitoring of energy efficiency of water supply facilities of the enterprise and the unified multilevel information space of monitoring of energy efficiency of WSE were proposed, which are based on the application of web-oriented technologies of collecting, processing and integration of data.

Keywords: water supply facility, energy efficiency, energy performance evaluation, benchmarking of energy efficiency, benchmarking partners, monitoring of energy efficiency, power consumption planning, energy baseline, cyclic changes in the water supply process, daily chart of water consumption, group method of data handling, control of power consumption efficiency, control charts.

Інформаційно-видавничий відділ
Луцького національного технічного університету

Підписано до друку 03.11.2020 р.
Формат 60х90 1/16. Папір офсетний.
Гарн. Таймс. Умовн. друк. арк. 1,9.
Наклад 100 прим. Зам.014.

Надруковано у друкарні ІВВ Луцького НТУ
Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК № 4123 від 28.07.2011 р.
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75.